A TEXT BOOK

OF

# INTERMEDIATE PHYSICS

## IN TAMIL

(VOLUME I)



BY

R. K. VISWANATHAN, M. A.,

(LECTURER IN PHYSICS
AND MEMBER, BOARD OF STUDIES IN PHYSICS,
ANNAMALAI UNIVERSITY
AUTHOR OF "SANGITA OLI NOOL")

AND

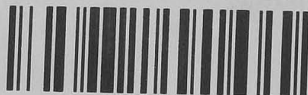
V. N. RAMASWAMY, B.Sc. (Hons.)







PRINTED AT
DE NOBILI PRESS, MADURA
AND PUBLISHED BY
LAI UNIVERSITY.
1941



# FOREWORD

IT has been increasingly recognized in recent years that the easiest way of acquiring knowledge in the Arts and in the Sciences lies through the medium of the mother tongue. Many high schools in the Presidency have during the last few years adopted the South Indian languages as media of instruction in the Science subjects. A logical extension of this arrangement will be the continuation of the same method of teaching in the collegiate classes.

A proper beginning on such lines will obviously involve the preparation of suitable text-books in Tamil for the Intermediate Classes. The Annamalai University has contributed in a large measure to this desirable reform and one of the results is the publication of the present volume of Intermediate Text-book of Physics written in Tamil.

Far too much energy is required to understand the full implications of a foreign language and I doubt whether many of us could ever hope to appreciate fully the many native subtleties of the English language. Any kind of transition is attended with difficulties and many of us who have become accustomed for several decades to English terms may look with a good deal of concern at the

large number of technical terms in Tamil introduced in the book. It should however be admitted that once the strange barrier of terms is crossed over by getting familiar with its details, further work is bound to be smooth and easy for teachers and students.

The authors are specially equipped for the arduous work that they have undertaken. Both of them are well known for their scholarship in Physics and in Tamil; and the senior author has also to his credit, the experience of having been a teacher and examiner in Physics for many years. It was no wonder that the present work was declared to be the best out of three manuscripts submitted to the Syndicate of the Annamalai University and secured the scheduled prize of one thousand rupees.

I earnestly hope that this pioneer work will herald an era of rapid dissemination of scientific knowledge in the Tamil Nad.

S. RAMACHANDRA RAO,
M.A., Ph.D., D.Sc. (London),
F. Inst. P.,
*Professor of Physics.*

ANNAMALAI UNIVERSITY,
ANNAMALAINAGAR,
*27—2—1941.*

# பௌதிக நூல்

(முதற் புத்தகம்)



ஆர். கே. விசுவநாதன், எம்.ஏ.,
(பௌதிக நூலாசிரியர், அண்ணாமலைச் சர்வகலாசாலை
"ஸங்கீத ஒலி நூல்" இயற்றியவர்)

வி. என். இராமஸாமி, பி.எஸ்.ஸி. (ஆனர்ஸ்)

இவர்களால் எழுதப்பட்டது.






அண்ணாமலைச் சர்வகலாசாலையாரால்
மதுரை தே நோபிலி அச்சுக்கூடத்திற்
பதிப்பிக்கப் பெற்றது

1941

" கல்வித் தேவி ளொளி மிகுத் தோங்க "

*பாரதி.*

# நன்றியுரை

சென்ற 1936-ஆம் ஆண்டில் அண்ணாமலைச் சர்வகலாசாலையார் இண்டர்மீடியட் வகுப்புக்குத் தக்கதொரு பௌதிக நூலைத் தமிழில் எழுதுபவருக்கு ரூபாய் ஆயிரம் பரிசு அளிப்பதாகப் பத்திரிகைகளில் ப்ரசுரம் செய்திருந்தனர். அப் போட்டியில் "வந்தேமாதரம்" என்ற புனை பெயர் கொண்ட எமது புத்தகத்துக்குப் பரிசு அளிக்கப்பட்டது. பரிசளித்து இந்நூலை வெளியிடும் அண்ணாமலைச் சர்வகலாசாலைக்கு மனமார்ந்த நன்றியறிவித்தல் எமது முதற் கடன். அச்சிடுவதற்குமுன் இந்நூலை நன்கு பார்வையிட்டு உதவிய சர்வகலாசாலைத் தமிழாசிரியர் இ. எஸ். வரதராஜ அய்யர், பீ.ஏ., அவர்களுக்கும், கடிதப் பிரதியைப் பெயர்த்தெழுதுவதிலும், கேள்விகளுக்கு விடை தயாரிப்பதிலும் உதவிய கே. இராமச்சந்திரன், பி. எஸ். ஸி., அவர்களுக்கும், படங்கள் தயாரித்து உதவிய மாணவர்கள் இ. எஸ். குஞ்சிதபாதம், வி. இராமச்சந்திரன் முதலியோர்களுக்கும் எமது வந்தனத்தைத் தெரிவித்துக்கொள்ளுகிறோம். இந்நூலை எழுதுவதில் உதவியளித்தவை ஆங்கிலத்தில் உள்ள பல நூல்களேயாகும். அவையின்றி இதுபோன்ற நூலை இயற்றுவது இயலாதெனப் பௌதிக நூல் வல்லார் அறிவர். நூலுக்கு முகவுரை எழுதியுள்ள டாக்டர் எஸ். இராமச்சந்திர ராவ் அவர்களுக்கு எமது வந்தனத்தைத் தெரிவித்துக்கொள்ளுகிறோம். இதனைத் திறம்பட அச்சிட்டுக் கொடுத்த தே நோபிலி அச்சுக்கூடத்தின் திறமை பாராட்டத் தக்கது. தமிழ் நலம் பரவுக.

"வந்தேமாதரம்"

# பௌதிக நூல்

## இயக்கவியல் (DYNAMICS)

[அத்தியாயச் சுருக்கம்]

### அத்தியாயம் 1

அலகுத் திட்டங்கள் **(Units of Measurement)**

*[முதல் அலகுகள், வழியலகுகள்—அலகின் வரைவிலக்கணம்—நீளம், காலம், நிறை, இவற்றின் அலகுகள்—பிரிட்டிஷ் திட்டம் (அ. ப. செ.)—மெட்ரிக் திட்டம் (செ. கி. செ.)—மெட்ரிக் முறையில் நீட்டலளவை எடுத்தலளவை வாய்பாடுகள்—நேர்கோட்டின் நீளத்தை அளத்தல்:—வெர்னியரின் தத்துவம்—நேர் வெர்னியர், எதிர் வெர்னியர்—மூலைவரை அளவி—வெர்னியர் காலிபர்—திருகுமானி—கோளமானி—கோளமானியால் ஒரு சில்லினது கனம், கோள ஆடியின் வளைவு ஆரம், இவற்றை அளத்தல்—நிறையை அளவிடுதல்:—சாதாரணத் தராசும் அதைக்கொண்டு ஒரு எடையை நுணுக்கமாக நிறுத்தலும்—வில்தராசு—காலத்தை அளத்தல்:—நாலம், பாணி என்னும் கருவிகள்—வழியலகு இராசி (பரப்பு, பருமை) களை அளத்தல்—அளவியல் சாடி, வழியும் கலம், இவற்றால் கட்டிப் பொருள்களின் பருமையை அளத்தல்.]*

## அத்தியாயம் 2

### பெயர்ச்சியும் கதியும் (Displacement and Velocity)

[இயக்கமும் பெயர்ச்சியும்—பெயர்ச்சிகளைத் தொகுத்தல், வகுத்தல் என்பவற்றின் விளக்கம்—பிரிநிலை—தொகுத்தலில் சில சிறப்பு வகைகள்—கதி—கதிகளைத் தொகுத்தல்—இரண்டு கதிகளின் பயனிலைக்கு ஒரு வாய்பாடு காண—ஒரு கதியின் பிரிநிலைகளை ஒன்றுக்கொன்று செங்குறுக்கான ஏதேனுமிரண்டு திசைகளில் காணல்—உருவக முறையினால் இயக்கத்தை ஆராய்தல்—கால இடப்படம்—கதிவரை.]

---

## அத்தியாயம் 3

### முடுக்கம் (Acceleration)

[கதிமாற்றம்—முடுக்கம்—முடுக்க அலகுகள்—மிகை முடுக்கம், குறை முடுக்கம் அல்லது தடுக்கம்—சீரான முடுக்கம்கொண்ட ஒரு துகளின் கதியைக் கண்டு அதன் கதிவரையை வரைய—அது கடந்து செல்லும் தூரத்தைக் கண்டுபிடிக்க—சீரான முடுக்கம் கொண்ட பொருள்களின் பொதுமை கதி—சீரான முடுக்கத்தோடு இயங்கும் ஒரு துகளின் துவக்க-முடிவு கதிகளைக்கொண்டு அது இடையிலே கடந்து சென்ற தூரத்தைக் காண—பொருள்கள் வீழ்தல்—கலிலியோவின் பரிசோதனை—நியூட்டனின் நாணய-இறகு பரிசோதனை—பூமிக்கவர்ச்சியின் முடுக்கம்—பொருள்களின் வீழ்ச்சிக்குரிய வாய்பாடு—மேனோக்கி எறியப்பட்ட பொருள்கள்—'g' யை நிர்ணயித்தல்—சாமானிய நாலம்—நாலத்தின் வீச்சு, ஆட்டம், பொழுது—சாமா

னிய காலத்தைக்கொண்டு செய்யும் பரிசோதனைகள்—செகண்டு காலம்—பலகை வீழ்ச்சி முறையினால் ‘g’யைக் கணக்கிடல்.

---

## அத்தியாயம் 4

### நியூட்டன் இயக்க விதிகள்
### (Newton's Laws of Motion)

[நிறை, உந்தம் என்னும் பதங்கள்—நியூட்டன் இயக்க விதிகள்—சக்தி—சில உதாரணங்களால் முதல் விதியின் விளக்கம்—பொருள்களுக்கு ஜடத்வம் என்னும் குணம்—இரண்டாவது விதியால் சக்தியை அளத்தல் — டைன், பவுண்டல் — இயக்கவியல் அலகுகளும் கவர்ச்சியியல் அலகுகளும்—நிறையும் எடையும்—கவர்ச்சி விதி—பூமியின் நிறையும் செறிவும்—மூன்றுவது இயக்க விதியைச் சில உதாரணங்களால் விளக்குதல்—உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி—ஹிக்கின் முட்டல் தராசினால் இரண்டு பொருள்களின் நிறையை ஒப்பிடுதல்.]

---

## அத்தியாயம் 5

### அட்வுட் இயந்திரமும் ப்ளெட்சரின் வண்டியும்
### (Atwood's Machine and Fletcher's Trolley)

[ஒரு சகடையின் இருபுறங்களிலும் தொங்கவிடப்பட்ட இரண்டு எடைகளின் இயக்கமும் முடுக்கமும்—முடுக்கத்தை அளந்து ‘g’ யைக் கணக்கிடல்—அட்வுட்

இயந்திரம்—இந்த இயந்திரத்தினுல் (i) சீரான சக்திக்குட்பட்ட பொருள் சீரான முடுக்கத்துடன் இயங்குகிறது, (ii) முடுக்கம் தொழிற்படும் சக்திக்கு ஏற்றது என்னும் விதிகளைச் சரிபார்த்தல்—'g' யின் மதிப்பை அட்வுட் இயந்திரத்தினுதவியால் கண்டுபிடித்தல். ஒரே சக்தி பல பொருள்களின்மீது தொழிற்பட்டால், அவைகளிலேற்படும் முடுக்கம் அந்தந்தப் பொருள்களின் நிறைக்கு எதிர்விகிதமாக இருக்கும் என்று காட்ட—ஒரு பொருளில் ஏற்படும் கதிமாற்றம் அதன் சக்தி தொழிற்படும் காலத்திற்கு ஏற்றது என்று காட்ட—ப்ளெட்சரின் வண்டி—வண்டி செல்லும் தூரத்தை அளந்து அதன் முடுக்கத்தைக் கண்டுபிடித்தல். இவ்வண்டியைக் கொண்டு (i) முடுக்கம் தொழிற்படும் சக்திக்கு ஏற்றது, (ii) ஒரே சக்தியினுல் ஏற்படும் முடுக்கம் பொருள்களின் நிறைகளுக்கு எதிர்விகிதமாக இருக்கும், என்பவற்றைப் பரிசோதனையால் காட்ட—'g' யைக் கணக்கிட.]

---

## அத்தியாயம் 6

### வேலையும் ஆற்றலும் (Work and Energy)

[ஒரு பொருளின்மீது ஒரு சக்தி தொழிற்படும்போது அதன் பிரயோக நிலை இயங்கினுல் வேலை செய்யப்படுகிறது. பிரயோக நிலை சக்தி தொழிற்படும் திசையில் நகர்ந்தால், சக்தி × பெயற்சி = சக்தி செய்த வேலை. பிரயோக நிலை சக்தியின் திசைக்கு மாறுபட்டு நகர்ந்தால் சக்தி செய்த வேலையைக் கணக்கிட—வேலையலகுகள் —'எர்க்கு', 'ஜூல்' — அடிப்பவுண்டல்—நிலக்கவர்ச்சி அலகுகள்—செய்யப்பட்ட வேலையை உருவகத்தால் காட்டுதல்—விசை—ஒரு சாதனம் அல்லது இயந்

திரம் ஒரு செகண்டில் செய்யும் வேலை—விசையின் இலக்கணம்--குதிரை விசை--விசையை அளவிடுதல் —வேலைக்கும் விசைக்குமுரிய வாய்பாடுகள்—ஆற்றல் என்பது ஒரு பொருள் வேலை செய்யக்கூடிய திறமையாகும்--இயக்க ஆற்றலும் நிலைப்பு ஆற்றலும்--ஒரே கதியோடு இயங்கும் ஒரு பொருளின் ஆற்றலைக் காண—மேலேற்றப்பட்ட பொருளின் நிலைப்பு ஆற்றல்—இயக்க ஆற்றலும் நிலைப்பு ஆற்றலும் ஒன்று மற்றொன்றாக மாறுதல்—சில உதாரணங்கள்—ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி.]

---

# நிலையியல் (STATICS)



## அத்தியாயம் 7

### ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படும் சக்திகள்
### (Forces at a Point)

*[ஒரு சக்தியை நேர்கோட்டினால் குறிப்பிடுதல்—பல வேறு சக்திகளின் பயனிலை—பிரிநிலைகள்—சமநிலை—பலவேறு சக்திகளின் பயனிலைக்குச் சமமான ஆனால் எதிரானதொரு சக்தி—ஒரே கோட்டில் தொழிற்படும் சக்திகளின் பயனிலை—சக்தி இணைகரம்—சக்தி இணைகர விதியைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்—சக்தி முக்கோண விதி—சக்திப் பலகோணம்—சக்தி முக்கோண தத்துவத்தைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்—லாமியின் ஊகை—பரிசோதனை—சக்திகளைத் தொகுத்தலும் வகுத்தலும்—செங்குறுக்கான இரண்டு சக்திகளின் பயனிலையைக் காண—ஒன்றுக்கொன்று சாய்வான இரண்டு சக்திகளின் பயனிலையைக் காண—ஒன்றுக்கொன்று செங்குறுக்கான இரண்டு திசைகளில் ஒரு சக்தியின் பிரிநிலைகளைக் காண—வடிவியல் கரணத்தால் ஒரு சக்தியின் பிரிநிலைகளை ஏதேனுமிரண்டு திசைகளில் காண—ஆகாய விமானம் பறக்கும் விதம்.]*

---

## அத்தியாயம் 8

### இணைச் சக்திகள் (Parallel Forces)

*[விறைப்புப் பொருள்கள்—ஒத்த சக்திகளும் எதிர் சக்திகளும்—ஒரு விறைப்புப் பொருளின்மீது தொழிற்*

படும் இரண்டு இணைச்சக்திகளின் பயனிலை காண—இரட்டைகள்—இணைச்சக்தி விதிகளைப் பரிசோதனை யால் சரிபார்த்தல்—பல இணைச்சக்திகளின் பயனிலை—திருப்பியல்—மிகைத் திருப்பியலும் குறைத்திருப்பிய லும்—திருப்பியலை வடிவியல் முறையால் குறித்தல்—ஒரே தளத்தில் தொழிற்படும் இரண்டு சக்திகளின் திருப்பியல், அதே புள்ளியைச் சுற்றி அவற்றின் பய னிலையின் திருப்பியலுக்குச் சமமாகும்—பல வேறு இணைச் சக்திகளினது பயனிலையின் தொழிற்படும் புள்ளியைக் காண—பலவேறு ஏகதள இணைச்சக்திகள் தொழிற்படும் ஒரு விறைப்புப் பொருளின் சம நிலைக் குரிய நிபந்தனைகளைக் காண—இவற்றைச் சோதனையால் சரிபார்த்தல்.]

---

## அத்தியாயம் 9

### கவர்ச்சி மையம் (Centre of Gravity)

[கவர்ச்சி மையம்—ஒவ்வொரு கட்டிப் பொருளி லும் அதன் பல வேறு பாகங்களின் எடைச் சக்திகளின் பயனிலை எப்போதும் செல்லும் புள்ளி, கவர்ச்சி மையம் எனப்படும்—ஒரு பொருளுக்கு ஒரே கவர்ச்சி மையம் தான் இருக்கக்கூடும்—சில சாமானிய வடிவுகொண்ட பொருள்களின் கவர்ச்சி மையங்களைக் காண—சீரான தடிப்புக்கொண்ட ஒரு சட்டத்தின் கவர்ச்சி மையம் அதன் நடுப்புள்ளியாகும்—இணைகர வடிவான ஒரு தகட்டின் கவர்ச்சி மையம் இரண்டு மூலைவரைகளும் வெட்டுமிடமாகும்.—ஒரு முக்கோண வடிவான தகட் டின் கவர்ச்சி மையம் நடுவன்கள் கூடுமிடமாகிய செம் மையமாகும்—கவர்ச்சி மையமும் தாங்குநிலையும்—

*கவர்ச்சி மையத்தைப் பரிசோதனையால் கண்டுபிடித்தல் —கவர்ச்சி மையத்தைப்பற்றிய பொது ஊகை—கவர்ச்சி மையத்தைப்பற்றிய இரண்டு ஊகைகள்—சமநிலைகளின் நிலைப்பேறு—அடிவாரம்.]*

---

## அத்தியாயம் 10

### சாமானிய இயந்திரங்கள் (Simple Machines)

*[இயந்திரம்:—வரைவிலக்கணமும் உதாரணங்களும்—இயந்திரங்களைப்பற்றிய வரையில் விசை அல்லது பிரயோக சக்தி, எடை அல்லது தடை என்பன—இயந்திரத்தின் வேலைத்தத்துவம்—இயந்திர சாதகம் அல்லது கதித்தகவு—இயந்திரத்தின் திறமை—உதாரணங்கள் :—நெம்புகோல் — நெம்புகோல்களில் மூன்று வகுப்புகள்—அவைகளின் இயந்திர சாதகம்—சகடும் இருசும்—இறைப்புருளை—தராசு—ஒரு நல்ல தராசிற்கு அவசியமான குணங்களும் அவற்றிற்கு வேண்டிய நிபந்தனைகளும்—ஒரு சமமில்லாத சிறைகளையுடைய தராசினால் நிறையிடும் முறைகள்—துலாக்கோல்கள்—ரோமன் துலாக்கோல், டேனிஷ் துலாக்கோல்—சகடைகள்—மூன்று வகைச் சகடை அமைப்புகள் — அவ்வமைப்புகளின் இயந்திர சாதகங்களும் அவற்றைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தலும்—சாய்வு சாரம்—அதன் வேலைத் தத்துவ முறை—பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்.]*

---

# புனல் - நிலையியல்
# (HYDRO-STATICS)



## அத்தியாயம் 11

### செறிவும் ஒப்புமைச் செறிவும்
### (Density and Specific Gravity)

*[செறிவு, ஒப்புமைச் செறிவு என்னும் பதங்களின் விளக்கம்—ஒரு பதார்த்தத்தின் செறிவையும் கவர்ச்சி உரிமையையும் காணச் சாதனங்கள்—வழியும் கலம், பூரகம், செறிவுக்கலம்—செறிவுக் கலத்தினுதவியால் ஒரு திரவத்தின் அல்லது சிறு துகள்களான கட்டிப் பொருள்களின் ஒப்புமைச் செறிவைக் காணும் முறைகள்.]*



## அத்தியாயம் 12

### அழுத்தமும் இறுக்கமும் (Thrust and Pressure)

*[அழுத்தம் என்பதின் விளக்கம்—ஒரு புள்ளியிலேற்படும் இறுக்கம்—பொதுமை இறுக்கம்—இறுக்க அலகுகள்—சரிக்கும் இசிவு—ஓடிகளில் ஏற்படும் இசிவுகள்—அசையாது நிற்கும் திரவத்தினுள் ஓர் புள்ளியினிறுக்கம்—திரவத்தினுள் வெவ்வேறு ஆழங்களில் இருக்கும் இரண்டு புள்ளிகளின் இறுக்க வேற்றுமையைக் கணக்கிட—ஒரு சீரான இறுக்கத்திற்குட்பட்ட திரவத்தின் பரப்பு—'திரவம் தன் மட்டத்தை நாடுகிறது'—ஓடி இறுக்கத்தின் பரவும் இயல்பு—பாஸ்கலின் விதியை ஒரு உபகரணத்தால் விளக்குதல்—ஓடி*

களின் இயல்புகளைப் பரிசோதனைகளால் விளக்கிக் காட்டுதல்—ஆர்டீசியன் கிணறுகள், நீர்மட்டம், ரசமட்டம் முதலியன—பாஸ்கலின் கலங்கள் என்னும் உபகரணம் —திரவத்தினுள் ஒரு புள்ளியினிறுக்கம் அதன் ஆழத்திற்கும் அத்திரவத்தின் செறிவுக்கும் ஏற்றது என்றும், அது எல்லாத் திசைகளிலும் சமமான அளவையுடையது என்றும் காட்டச் சில பரிசோதனைகள் —கார்டீஸியன் நீர்மூழ்கி—நீர் மூழ்கிக் கப்பலின் தத்துவம்—நீர் நிலையியல் விசித்திரம்—நீரியல் துருத்தி, பிராமா அச்சு என்னும் கருவிகள்—புகைக்கூண்டுகளும் ஆகாயக் கப்பல்களும்—சமமான இறுக்கங்களைக் கொடுக்கும் திரவ நிரைகளைக்கொண்டு திரவங்களின் ஒப்புமைச் செறிவைக் காண—குழாய்க்கவடும் ஹேரின் கருவியும்.]

---

## அத்தியாயம் 13

### ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவம் (Principle of Archimedes)

[ஒரு பொருள் திரவத்தில் முழுகியிருக்கும்போது அதன்மீதேற்படும் நீரியல் அழுத்தத்தைக் காண—பொருள்கள் திரவத்தில் அழுந்தியிருக்கும்பொழுது எடையில் குறைவுபடுவதாகத் தோற்றல்—மிதப்பு, மிதப்பு மையம்—ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவமும் மிதவை விதியும்—ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவத்தை இரு பரிசோதனைகளால் சரிபார்த்தல்—ஒரு பொருள் திரவத்தில் முழுகி நிற்பதால் திரவத்தைக்கொண்டிருக்கும் கலத்தின்மீது ஏற்படும் அதிக அழுத்தம்—ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவத்தால் நீரில் கரையாத திடப்பொருள், திரவம், நீரில் கரையக்கூடியதொரு பொருள், மிதக்கக்கூடிய பொருள் ஆகியவற்றின் ஒப்புமைச் செறிவைப் பரிசோ

*தனையால் கண்டுபிடித்தல் — நீரியல் தராசினல் ஒரு பொருளின் பருமையை அளத்தல் — ஒரு கம்பியின் குறுக்களவு, சிக்குப்பட்டுள்ள கம்பிச் சுருளின் நீளம் முதலியவற்றைக் கணக்கிடுதல்—மிதவை விதிகள்–திரவ மானியின் தத்துவம் — வகைகள்—சோதனைக்குழாய் மிதவை—நிக்கல்ஸன் திரவமானி—இத்திரவமானியால் ஒரு கட்டிப்பொருள், திரவம், மிதக்கும் பொருள் முதலியவற்றின் ஒப்புமைச் செறிவைக் கண்டுபிடித்தல் —சாமானிய திரவமானிகள்.]*

---

## அத்தியாயம் 14

### பவனத்தின் இறுக்கம் (Atmospheric Pressure)

*[பவன இறுக்கத்திற்கும் திரவ இறுக்கத்திற்குமுள்ள வேற்றுமை—பவன இறுக்கத்தைக் காட்டச் சில பரிசோதனைகள்—மையுறிஞ்சும் பேனக்களின் தத்துவம்—மாக்டிபர்க் கிண்ணங்கள்—இருவகைப் பாரமானிகள் :—திரவப் பாரமானிகள், நெகிழ்ச்சிப் பாரமானிகள் –அங்குசப் பாரமானி இயற்றும் விதம்–பார்டின் பாரமானி— பவன இறுக்கத்தைக் காணும் விதம்—பாரமானியின் வாசகத்தில் செய்யவேண்டிய திருத்தங்கள்— நெகிழ்ச்சிப் பாரமானியின் சில உபயோகங்கள்—பாயிலின் விதி—பரிசோதனைகளால் சரிபார்த்தல்—காற்றையுட்கொண்ட பாரமானிகளும் அவற்றிற்குரிய திருத்தங்களும்.]*

---

# அத்தியாயம் 15

## இறுக்கமானியும் இறைவி நிறைவிகளும்
## (Manometer and Pumps)

*[இறுக்கமானி — தாழிறுக்கமானி — நீரியல் இயந்திரங்கள் :—அங்குச நாளி, பீச்சாங்குழல்—நீர் இறைவிகள் :—சாமானிய இறைவி—தூக்கும் இறைவி—பீச்சும் இறைவி—காற்றிறைவிகள்— n அடிகளுக்குப்பின் உள்ளிருக்கும் காற்றிறுக்கத்திற்கு வாய்பாடு—ஸ்பிரெஞ்சவின் இறைவி —ஹைறவாக் இறைவி—மெக்ளியாட் இறுக்கமானி—புளூஸ் இறைவி—நிறைவிகள்.]*

---

# வெப்பவியல் (HEAT)



## அத்தியாயம் 1

### சூட்டை அளத்தல் (Thermometry)

[சூடும் வெப்பமும்—சூட்டின் விளைவுகளும் அவற்றை அளத்தலும்—சூடேற்றுவதால் உண்டாகும் மாறுபாடுகள்—சாதாரண உஷ்ணநிலைமானி இயற்றும் விதம்—உஷ்ணநிலைமானியில் உபயோகப்படும் திரவங்கள்—உஷ்ணநிலைமானி ஒன்று இயற்றுதல்—உஷ்ணநிலைமானியின் தாழ்ந்த மாறுநிலையையும் உயர்ந்த மாறுநிலையையும் காண—உஷ்ண நிலைமானியை வகைப்பாடு செய்தல்—மூன்றுவிதத் திட்டங்கள்—திரவ உஷ்ணநிலைமானியின் சில விசேஷ அமைப்புகள்—உடல் உஷ்ண நிலைமானி—ருதர்போர்டின் உச்ச நீச உஷ்ணநிலைமானிகள்—ஸிக்ஸின் உச்ச நீச உஷ்ணநிலைமானி.]

---

## அத்தியாயம் 2

### திடப்பொருள்களின் அகற்சி (Expansion of Solids)

[திடப் பொருள்கள் சூடேற்றப்பட்டால் அகற்சி அடைதலும் சூடு குறைக்கப்பட்டால் சுருங்குதலும்—திடப் பொருளின் நீட்சிப் பான்மை—நீட்சிப் பான்மையை அளக்க முறைகளும் உபகரணங்களும்—பரப்பு அகற்சியும் பருமை யகற்சியும்—நீட்சிப் பான்மை, பரப்பு அகற்சிப் பான்மை, பருமை யகற்சிப் பான்மை, இவைகளுக்குள்ள உறவுகள்—ஒரு பொருளின் சூடும் அதன் செறிவும்—அகற்சியின் விளைவுகளும் சில உதாரணங்

களும்—கிரஹாமின் பாதரச காலம்—சட்டக காலம்—கடியாரத்தின் துலேச்சக்கரம்.]

## அத்தியாயம் 3

### திரவப் பொருள்களின் அகற்சி
### (Expansion of Liquids)

[திரவத்தின் பருமை—அகற்சிப்பான்மை—அகற்சிமானி—தோற்ற அகற்சிப் பான்மை—தனியியல் அகற்சிப் பான்மை—எடை உஷ்ண நிலேமானியால் ஒரு திரவத்தின் தோற்ற அகற்சிப் பான்மையைக் காண—பைக்னுமீடர்—பாதரசத்தின் உண்மை யகற்சிப் பான்மையைக் காண ரீஞேவின் முறை—ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவத்தால் திரவத்தின் பருமையகற்சி காணல்—வெவ்வேறு சூடுகளில் திரவங்களின் அகற்சிப் பான்மை—தண்ணீரின் விபரீதப்போக்கு—ஹோப்பின் கருவி—சூட்டினுல் ஏற்படும் அகற்சிக்காக பாரமானியின் வாசகத்தில் செய்யவேண்டிய திருத்தங்கள்.]

## அத்தியாயம் 4

### வாயுக்களின் அகற்சி (Expansion of Gases)

[வாயுக்களின் சிறப்பியல்பு—வாயுவின் மாரு இறுக்கப் பருமை—அகற்சிப் பான்மையும் மாருப் பருமை இறுக்க மிகுதிப் பான்மையும்—இவ்விரண்டு பான்மைகளின் சமத்துவம்-சார்லஸின் விதி-மாருத இறுக்கத்தில் வைக்கணக்கிட α பரிசோதனைகள்—மாருத பருமையில் α வைக்காண ஒரு உபகரணமும் பரிசோதனையும்—ஒரு உருவகம் வரைந்து α வைக்கணக்கிட

—வாயு உஷ்ண நிலைமானி—தனியியல் சூடு—தனியியல் சூன்யம்—கெல்வின் திட்டம்— வாயுச் சமீகரணம்.]

---

## அத்தியாயம் 5

### வெப்பத்தை அளத்தல் (Calorimetry)

[வெப்ப அளவு—ஒரு பொருளுக்குக் கொடுக்கப் பட்ட வெப்பத்தின் அளவு அப்பொருளின் நிறைக்கும் அதிலேற்பட்ட சூட்டின் உயர்வுக்கும் ஏற்றது— வெப்ப அலகுகள்—வெப்பம் ஏற்கும் திறமையும் வெப்ப உரிமையும்—வெப்ப உரிமையின் வரைவிலக்கணம்— நீர் ஒப்புமை—உஷ்ண நிறைமானி—மிசிரவிதி—திட, திரவப் பொருள்களின் வெப்ப உரிமையைக் காணப் பரி சோதனைகள்—சூடும் வெப்ப உரிமையும்—ட்யூலாங் பெடிட் விதி.]

---

## அத்தியாயம் 6

### நிலைமை மாறுதலும் கரவு வெப்பமும்

### (Change of State and Latent Heat)

[நிலைமைகளின் தொடர்பு—பொருள்கள் நிலை மாறும்போது காணப்படும் நடவடிக்கைகள்—கரவு வெப்பம்—கொதிநிலை கரவு வெப்பமும் உருகு நிலை கரவு வெப்பமும்—நீரின் கரவு வெப்பத்தைக் காணும் முறை—நீராவியின் கரவு வெப்பத்தைக் காண—புன் ஸன் பனி உஷ்ண நிறைமானி—ஜாலியின் நீராவி உஷ்ண நிறைமானி—குளிர் வரை வரைந்து உருகு நிலையைக் காணல்—அதீதக் குளிர் நிலை—ஒரு பதார்த்தத்தின் உருகு நிலையைக் காண முறைகள் —கொதித்தலும்

கொதிநிலையும்—திரவங்கள் கொதிக்கும்போது உற்று நோக்கவேண்டிய சில இயல்புகள்—திரவங்களின் கொதிநிலை காண—இறுக்கமும் கொதிநிலையும்—இறுக்கம் குறைந்தால் கொதிநிலை தாழும் என்று பரிசோதனையால் காட்ட—கொதித்தலும் ஆவியாதலும்— ஆவியாகும்போது ஏற்படும் குளிர்ச்சி—இதைப் பரிசோதனையால் காட்டும் முறை—நிலை மாறுதலால் ஏற்படும் பருமை மாறுபாடு—இறுக்கம் அதிகரிப்பதால் உருகுநிலை தாழ்தல்—புடகரித்தல்.]

---

## அத்தியாயம் 7

### ஆவி இறுக்கம்—ஈர அளவியல்
### (Vapour Pressure and Hygrometry)

[பதார்த்தங்களின் மூலக அமைப்பும் ஆவியாதலும்—ஆவி இறுக்கம்—தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம் சூட்டோடு அதிகரிக்கும்—தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் அது அடைபட்டிருக்கும் இடத்தின் பருமையைச் சார்ந்ததல்ல—தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் அதனோடு கலந்திருக்கும் மற்ற வாயுக்களினுல் பாதிக்கப்படாது—அறையினது சூட்டில் ஆவியின் தெவிட்டிய இறுக்கத்தைப் பரிசோதனையால் காண—தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கமும் பருமையும்—தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் அதன் பருமையைச் சார்ந்ததல்ல—பாயிலின் விதி தெவிட்டிய ஆவியின் விஷயத்தில் செல்லாது—தெவிட்டிய ஆவியும் காற்றும்—ஒரு பரிசோதனையால் தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் காற்றுடன் கலப்பதால் மாறுபடவில்லை என்று அறிய—பலவேறு சூடுகளிலேற்படும் ஆவி இறுக்கங்களைக் கண்டு ஒரு உருவகம் வரைய—ஆவிகளைப்பற்றிய டால்டன் விதிகள்—தெவிட்டாத

ஆவிகள் :—தெவிட்டாத ஆவிகள் பாயிலின் விதிக்கும் சார்லஸ் விதிக்கும் உட்பட்டிருக்க வரம்புகள்—இவற்றை ஒரு உருவகம் வரைந்து காண—ஆவிகளை திரவமாக்குதலும் அவதிச்சூடும்—தட்பயந்திரமும் பனிக்கலமும்—இவைகளில் தொழிற்படும் திரவங்கள்—கொதித்தல்—கொதிப்பதற்குரிய நிபந்தனை—கொதிக்கும் திரவத்தின் ஆவி இறுக்கம் அதன் பரப்புமீதுள்ள இறுக்கத்திற்குச் சமமானது என்று காட்டப் பரிசோதனை—ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலையைக் காண—திரவத்தில் கரைந்துள்ள பொருள்களால் அதன் கொதிநிலை பாதிக்கப்படுவது—இறுக்க மாறுபாடு கொதிநிலையைப் பாதித்தல்—பல வேறு சூடுகளில் தண்ணீரின் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கங்களைப் பரிசோதனையால் காணல்—பவனத்தின் ஈரம்—ஒப்புமை ஈரம்—பனிதோன்றலும் பனி நிலையும்—பனி உண்டாகும் விதம்—ரீஞேவின் ஈரமானியால் பனி நிலை காண—மேஸன் ஈரமானி—டேனியல் ஈரமானி—டைன் ஈரமானி—இரசாயன ஈரமானி.]

---

## அத்தியாயம் 8

### வேப்பம் பரவுதல் (Conduction of Heat)

[மூன்று வகை வெப்பம் பரவும் விதங்கள் :—உகைத்தல், விரவுதல், கிரணித்தல். இவற்றை விளக்க ஒரு உபமானம்—உகைவிகளும் தகைவிகளும்—உலோகங்கள் மற்ற பொருள்களைவிடச் சிறந்த உகைவிகள் என்று நிரூபிக்கப் பரிசோதனைகள்—வெப்ப உகைவுப் பான்மை—வெப்ப உகைவுப் பான்மைகளை ஒப்பிடுதல்—ஒரு உலோகக் கம்பியின் வெப்ப உகைவுப்பான்மையை அறிய ‘ஸர்ல்’ என்பவரின் உபகரணம்— திரவங்களின் உகைவுப்பான்மையும் வாயுக்களின் உகைவுப்பான்மையும் –தண்ணீர் சிறந்த உகைவியல்ல என்பதைக் காட்டப் பரி

சோதனை—ஆரூத கலங்கள்—'டேவி'யின் கைவிளக்கின் தத்துவம்—திரவங்களிலும் வாயுக்களிலும் ஏற்படும் விரவல்—தண்ணீரில் வெப்பம் பரவும் விதத்தைக் காண ஒரு பரிசோதனை—பவனத்திலேற்படும் விரவல் அருவிகள் — வீடுகளில் காற்ருேட்டம் — சூருவளியும் புயற்காற்றும்—கிரணித்தல் அல்லது கதிர்ப்பு—ஒளிக் கிரணங்களும் வெப்பக் கிரணங்களும் — கிரண வெப்பத்தை அளக்கும் கருவிகள்—வேற்றுமை உஷ்ணநிலை மானி—ஈதர் வேற்றுமை உஷ்ணநிலைமானி — சூட்டிணைப்புக் கருவி—வெப்பக் கிரணங்கள் பரவுதல்—வெப்பக் கிரணங்கள் பிரதிபலித்தல்—பரிசோதனை—ஒளிக் கிரணங்களைப்போன்று அவை பிரதிபலன விதிகளுக் குட்படுதல்—வெப்பக் கிரணங்களின் கோட்டம்—வெப்பத் தெளிபொருள்களும் வெப்பத் தகைபொருள்களும் —வெப்பத் தெளிவியல்புகளை ஒப்பிடுதல் — கான்றல் திறமையும் உறிஞ்சு திறமையும் சமம்—நியூட்டன் குளிர்தல் விதி—குளிர்தல் முறையினுல் ஒரு திரவத்தின் வெப்ப உரிமையைப் பரிசோதனையால் அறிய.]

---

## அத்தியாயம் 9

### வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை

### (Dynamical Equivalent of Heat)

['ரம்போர்ட்', 'டேவி', 'ஜூல்' என்பவர்களின் வெப்பத்தைப்பற்றிய ஊகைகள்—வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதி—இயக்கவியல் ஒப்புமை—பரிசோதனையால் J-யினளவைக் காண கருவியும் தொழில் முறையும்—நீராவி என்ஜின்—அதன் பல்வேறு பாகங்களும் தொழிற்படும் முறையும்—கரிவாயு என்ஜின்—ஒட்டோ சுழல்.]

---

# ஒளியியல் (LIGHT)



## அத்தியாயம் 1

### ஒளியின் இயல்புகளும் அதை அளத்தலும்
### (Characteristics of Light and Photometry)

*[ஒளியின் தன்மை—சுயம்பிரகாசமான பொருள்களும் சுயம்பிரகாசமில்லாத பொருள்களும்—மின்காந்த அலைகளும் வெப்ப வெளிச்ச அலைகளும்-தெளிபொருள்கள், தகை பொருள்கள், மங்கிய பொருள்கள்—ஒளியின் நேர்கோட்டுச் செலவு—பல கிரணங்களின் சேர்க்கை—நேர் கோட்டுச் செலவை விளக்கிக் காட்டப் பரிசோதனை — ஊசிக்கண் பெட்டியின் தத்துவம்—சாயை, உபச்சாயை ஏற்படும் விதம்—கிரகணங்கள் உண்டாகும் விதம்—ஊற்றுக்கண்ணின் பிரகாசம்—ஒளியலகு—ஒரு பரப்பின் வெளிச்சம்—வருக்கமறிப்பு விதி—வத்தியின் ஒளிதரும் திறமை—கட்டளை ஊற்றுக்கண்—ஒளிமானியின் தத்துவம்-ரம்போர்டின் ஒளிமானி—புன்ஸன் ஒளிமானி—ஜாலியின் ஒளிமானி—இவ்வொளிமானிகளால் இரு ஊற்றுக்கண்களை ஒப்பிடுதல்.]*

---

## அத்தியாயம் 2

### சமதளப் பரப்புகளில் பிரதிபலித்தல்
### (Reflection at Plane Surfaces)

*[சமதளப் பரப்புகளில் ஒளியின் பிரதிபலன விதிகள்-இவற்றைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்—மெய்ப் படிவங்களும் பொய்ப் படிவங்களும்—ஒரு சமதள ஆடி-*

யில் காணப்படும் ஒரு புள்ளியின் படிவத்தின் நிலையை நிர்ணயித்தல்—படிவத்தின் நிலையைப் புடை பெயர்ச்சி முறையால் காணுதல்—படிவத்தை வடிவியல் முறையால் காண—பருப்பொருளின் படிவம்—இரண்டு சமதள ஆடிகளில் பிரதிபலித்தல்—இரண்டு இணையான ஆடிகளில் படிவங்களைக் காணல்—ஒரு புறத்துவிளிம் பொன்றிய ஆடிகளில் ஏற்படும் படிவங்கள்—ஆடிகளினிடையே ஒரு செங்கோணம் ஏற்படும்போது உண்டாகும் படிவங்களைக் காண—ஆடிகளினிடையே 60 கோணம் இருக்கும்போது உண்டாகும் படிவங்கள்—சமதள ஆடியின் சுழற்சி—மீளும் கிரணம் ஆடி சுழலும் கோணத்தைப்போல் இருமடங்கு சுழலும் என்று நிரூபிக்க—ஆடிகளைச் சுழற்றிச் சிறு கோணங்களை அளத்தல்—விளக்கும் அளவியும், அளவி தூரதரிசனி முதலிய சாதனங்கள்—அறு கால் என்னும் கருவி.]

---

## அத்தியாயம் 3

### சமதளப் பரப்புகளில் ஒளிக்கோட்டம்

### (Refraction at Plane Surfaces)

[ஒளிக்கோட்டத்தைச் சிறிய பரிசோதனைகளால் விளக்குதல்—ஒளிக்கோட்ட விதிகள்—கோட்டப் பான்மை—ஒளிக்கோட்ட விதிகளைச் சரிபார்த்தல்—கோட்டிய கிரணம் செல்லும் பாதையை வடிவியல் முறையால் நிர்ணயித்தல்—ஒரு கண்ணாடிப் பலகையின் வழியாக ஏற்படும் ஒளிக்கோட்டம்-ஒளிக்கோட்டத்தால் ஏற்பட்ட ஒரு புள்ளியின் படிவம்—ஒளிக்கோட்டத்தால் ஏற்படும் பிறைக்கோடு—புடை பெயர்ச்சி முறையினால் படிவத்தைக் கண்டு கோட்டப் பான்மையைக் கணக்

கிடல்—பிறை வளைவை வரைய—திரவத்தின் கோட்டப் பான்மையைக் காண—பூரண அந்தரப் பிரதிபலனமும் அவதிக்கோணமும்— பூரண அந்தரப் பிரதிபலனத்தைப் பல நிகழ்ச்சிகளில் காணல்—அவதிக் கோணத்தைக் கண்டு ஒரு திரவத்தின் கோட்டப் பான்மையை அறியப் பரிசோதனையும் அதன் தத்துவமும்—பேய்த்தேர் அல்லது கானல் நீர்—ஒளி வீழ்ச்சி—முப்பட்டையில் ஒளிக்கோட்டம்—கோட்டப் பான்மைக்கு வாய்பாடு—ஒரு முப்பட்டையின் கோட்டக் கோணத்தை அளவிட—நீச விலக்கத்தை உருவகம் வரைந்து காண—நீச விலக்கத்தைக் காண சில முறைகள்—ஒரு திரவத்தின் கோட்டப் பான்மையைக் காணும் முறை—முப்பட்டையில் அவதிக் கோணத்தைக் கண்டு கோட்டப் பான்மையைக் கணக்கிடல்—பூரணப் பிரதிபலன முப்பட்டைகள்.]

---

## அத்தியாயம் 4

### கோளப் பரப்புகளிலேற்படும் பிரதிபலனம்

### (Reflection at Spherical Surfaces)

[கோள ஆடிகள்—அவைகளைப்பற்றிய மரபுச் சொற்கள்—குவிய நீளத்திற்கும் வளைவு ஆரத்திற்கும் உள்ள உறவைக் காண—கோள ஆடிகளில் குறியீடுகளைப்பற்றிய மரபு—பொருள், படிவம், குவியம் ஆகிய இம்மூன்றின் தூரங்களைக் காட்டும் உறவைக் காண—பிணையல் புள்ளிகள்—ஒரு பருப்பொருளின் படிவத்தை வடிவியல் முறையால் காண-படிவத்தின் பெருக்கத்திற்குரிய வாய்பாடு—குழியாடியைக்கொண்டு செய்யும் சில பரிசோதனைகள்—வளைவு ஆரத்தை அளக்க—குவிய நீளத்தைக் கண்டுபிடிக்க—ஒரு உருவகம் வரைந்து

குவிய நீளத்தை அளத்தல்—வளைவு ஆரத்தை அள விடுதல் முறை—குழி ஆடியில் படிவங்களின் நிலைகளைப் புடை பெயர்ச்சி முறையால் நிர்ணயித்தல்—குவி ஆடியைக்கொண்டு செய்யும் சில பரிசோதனைகள் :—குவிய நீளத்தை அளத்தல், படிவத்தின் நிலையைக் காணுதல்—கோளவியல் விதிர்ப்பும் பிறைக்கோடும்—இணைக்கவட்டுஆடிகள்—படிவம் புலப்படுவதற்குக் காரணமான கிரணங்களின் போக்கை வரைதல்.]

---

## அத்தியாயம் 5

### வில்லைகள் (Lenses)

[குவி வில்லையும் குழி வில்லையும்—இவைகளில் பல உட்பிரிவுகள்—வில்லைகளின் பிரதம குவியமும் குவிய நீளமும்—வில்லையின் ஒளியியல் மையம்—வில்லைகளில் நீளங்களை அளப்பதற்குரிய குறியீடுகளின் மரபு—படிவத்தை வடிவியல் முறையில் காண தத்துவங்கள்—குழி வில்லையிலும் குவி வில்லையிலும் $u, v, f$ என்னும் தூரங்களினிடையேயுள்ள உறவைக் காண—பெருக்கத்திற்குரிய வாய்பாடு—பிணையல் குவியங்கள்—இரண்டு வில்லைகளின் சேர்க்கையும் பயனிலைக் குவியமும்—வில்லைகளைக்கொண்டு செய்யும் பரிசோதனைகள் : வில்லையின் இயல்பைக் காணுதல்—குவி வில்லையின் குவிய நீளத்தைக் காணப் புடை பெயர்ச்சி முறை—வில்லைகளை இடமாற்றும் முறை—இம்முறையால் குவிய நீளத்தை அளப்பதற்கு வாய்பாடும் பரிசோதனையும்—குவி வில்லையின் குவிய நீளத்தை ஒரு சமதள ஆடியினுதவியால் அளத்தல்—குழி வில்லைகளைக்கொண்டு செய்யும் பரிசோதனைகள் :—குவிய நீளத்தைக் காணும் முறைகள்—ஒரு

குழி வில்லையையும் குவிவில்லையையும் கொண்டு குழி வில்லையின் குவிய நீளத்தைக் காண முறையும் விளக்க மும்.]

## அத்தியாயம் 6

### ஒளியியல் கருவிகள் (Optical Instruments)

[உருவப்படப் பெட்டியின் அமைப்பும் உருவப் படம் எடுக்கும் முறையும்—கண்ணின் அமைப்பும் அதன் பல பாகங்களின் தொழில் முறையும்—பார்வையி லேற்படும் ஊனங்களும் அவற்றை நிவர்த்தி செய்யும் முறைகளும் :—சாளேசரம், வெள்ளெழுத்து, பார்வை மூப்பு, ஒருதளப் பார்வை—வீச்சு விளக்கினால் ஒரு படத்தின் விரிந்த படிவத்தைத் திரையில் தோற்று வித்தல்—சாமானிய அணுதரிசனியின் தத்துவம்—அதன் அமைப்பும் தொழில் முறையும்—பெருக்கத்திறமை—ஒரு குவிவில்லையின் பெருக்கத்திறமையைப் பரிசோதனை யால் அளவிட—சூக்ஷ்ம அணுதரிசனி—தொழில் முறையும் பெருக்கத் திறமையும்—வானவியல் தூர தரிசனி :—அதன் பகுதிகள், உபயோகப்படும் விதம்—பெருக்கத் திறமை—ஒரு தூரதரிசனியைச் செய்து பெருக்கத் திறமையைக் காண—கலிலியோவின் தூரதரி சனி—ஆபெராக் கண்ணாடி—நிறமாலைமானி :—அதன் பகுதிகள், அவற்றின் செயல் முறை—நிறமாலைமானி யைச் சரிப்படுத்தும் முறை—ஒரு முப்பட்டையின் கோணத்தை நிறமாலை மானியைக்கொண்டு அளக்கும் முறை—அதன் நீச விலக்கத்தையும் அளந்து கோட்டப் பான்மையைக் கணக்கிடல்.]

# அத்தியாயம் 7

## ஒளிச்சிதறல், நிறமாலை அளவியல்
## (Dispersion and Spectroscopy)

*[ஒளிச் சிதறலைக் காணப் பரிசோதனை—வெண்ணிற ஒளியே பன்னிற ஒளிகளாகப் பிரிகிறது என்று காண—நியூட்டனின் வர்ணத்தட்டு—தூய நிறமாலை உண்டாக்க நிபந்தனைகளும் அதைக் காணப் பரிசோதனையும்—நிறமாலை வகைகள்—தொடர் நிறமாலை—வரிநிறமாலை—அருந்து நிறமாலை—சௌர நிறமாலையும் பிரான்ஹோபர் வரைகளும்—நிறமாலைப் பாகுபாடு—கண்ணுக்குப் புலப்படாத கிரணங்கள். அகச் சிவப்புக் கதிர்களும் புற ஊதாக் கதிர்களும்.]*

# ஒலியியல் (SOUND)



## அத்தியாயம் 1

### ஒலி உண்டாகும் விதமும் பரவும் விதமும்
### (Production and Propagation of Sound)

[ஒலி உண்டாகும் விதம்—ஒலி துடிப்பினால் ஏற்படுகிறது என்று காணப் பரிசோதனை—ஒலியின் யானம்—பாழிடத்தில் ஒலி செல்லாது என்று காட்ட—ஒலி ஒளியைவிட மிகக் குறைவான வேகத்துடன் செல்லல்—காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்க ஒரு முறை—தண்ணீரில் ஒலியின் வேகம்—ஒலியின் பிரதிபலனம்—ஒலியின் பிரதிபலனம் ஒளியைப்போல நிகழ்கிறது என்று காட்டப் பரிசோதனைகள்—எதிரொலியால் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட.]

---

## அத்தியாயம் 2

### எளிய இசை இயக்கமும் அலை இயக்கமும்
### (Simple Harmonic Motion and Wave Motion)

[துடிப்பின் பொழுது—எளிய இசை இயக்கத்தின் விளக்கம்—பொழுது, வீச்சு, கலை முதலிய பதங்களின் பொருள்—எளிய இசை இயக்கத்தில் கதியும் முடுக்கமும்—சாமானிய நாலத்தில் எளிய இசை இயக்கம்—எளிய இசை இயக்கத்தை உருவகப்படுத்தும் முறை—அலை இயக்கம்—நீரில் அலைகள்—குறுக்கலைகள்—நெட்டலைகள்—க்ரோவாவின் தட்டுப் பரிசோதனை—ஒலி அலைகள்—நெட்டலைகளை உருவகப்படுத்துதல்—

ஒலி அலைகள் காற்றை உடன்கொண்டு செல்லவில்லை என்று பரிசோதனையால் காட்ட—அலை இயக்கத்தின் இயல்புகளும் முன்னேறும் அலைகளும்—நிலையான அலைகளின் இயல்புகள்—நிலையான அலைகள் ஏற்படுவதைக் காணப் பரிசோதனை.]

## அத்தியாயம் 3

### இசை யொலிகள் (Musical Sounds)

[இசையொலியின் வகைகள்—அவற்றின் அம்சங்கள்—சுருதி ஒலியின் அடுக்கத்தைச் சார்ந்தது என்று காட்ட உபகரணங்கள்—பல் சக்கரம், சல்லடைத்தாரை—தாரையினுதவியால் ஒரு ஒலியின் அடுக்கத்தைக் கணக்கிட—முழக்கம்—பண்பு—இசையியல் இடைகள், ஸ்வரக்ரமங்கள்—கேள்வி வரம்புகள்—விம்மல்—விம்மல் உண்டாவதைக்காட்டுமொரு பரிசோதனை.]

## அத்தியாயம் 4

### தந்திகளின் குறுக்குத்துடிப்பு (Transverse Vibrations of Strings)

[இழுத்துக் கட்டப்பட்டதொரு தந்தியின் துடிப்பு அடுக்கம்—அடுக்கத்தின் வாய்பாடு—தந்திகளிலேற்படும் குறுக்குத்துடிப்புகளின் விதிகள்—சுருதிமானி—இக்கருவியினுல் குறுக்குத் துடிப்புகளின் விதிகளைச் சரிபார்த்தல்—சுருதிமானியினுதவியால் ஒரு சுருதியின் தனியியல் அளவைக்காணுதல்—பரிவாரச் சுருதிகள்—மெல்டியின் பரிசோதனை—இப்பரிசோதனையால் ஒரு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தை அறிய.]

## அத்தியாயம் 5

### உடனியக்கம் (Resonance)

[தன் வயமான துடிப்பும் பிறவயமான துடிப்பும் —காற்று நிரைகளில் தோன்றும் உடனியக்கம்— அதன் விளக்கம்—நாலத்தின் உடனியக்கத் துடிப்பு— இசைக்கவட்டின் முழக்கம்—அன்றாட வாழ்க்கையில் காணும் உடனியக்க நிகழ்ச்சிகள்—ஒரு புறம் மூடியுள்ள குழாயின் நீளத்திற்கும் அதனுள்ளிருக்கும் காற்று நிரையின் அடுக்கத்திற்குமுள்ள தொடர்பு—காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைப் பரிசோதனையால் கணக்கிட— கரியிருநீயதையிலும் நீரகத்திலும் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்க—ஒலியின் வேகம், சூடு, இறுக்கம் ஆகியவற்றால் பாதிக்கப்படுதல்—ஒரு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தைக் காண உடனியக்கப் பரிசோதனை— இரண்டு இசைக்கவடுகளின் அடுக்கங்களை ஒப்பிட— குழாய்களில் காற்று நிரைகள் துடிக்கும் வகைகளும் அவற்றின் அடுக்கங்களும்—சட்டங்களிலேற்படும் நெட்டுத்துடிப்புகள்—ஒரு சட்டத்தில் ஒலி செல்லும் வேகத்தைக் கணக்கிட—காற்றிலும் மற்றொரு வாயுவிலும் ஒலி செல்லும் வேகங்களைக் கணக்கிட.]

---

## அத்தியாயம் 6

### ஒலிப்பதிவு (Sound Recording)

[இசைத்தட்டுகளில் ஒலிப்பதிவு செய்யும் முறை —கிராமபோனின் அமைப்பு — மௌனப்படங்கள் — அவற்றின் தத்துவம்—படம் எடுக்கும் முறையும் திரையில் தோன்றச் செய்தலும்—பேசும் படங்கள்—அவற்றைப் பிடிக்கும் பழைய முறைகள்—ஒலியைப் படம் பிடித்தல்—ஒளியியல் மின்கடம்—படங்களைத் திரையில் பேச வைத்தல்-ஒலிப்பதிவு முறைகள்-மின்னியல் ஒலிப்பதிவு முறை.]

---

# காந்தவியல் (MAGNETISM)



## அத்தியாயம் 1

### இயற்கைக் காந்தங்களும் செயற்கைக் காந்தங்களும் (Natural and Artificial Magnets)

*[இயற்கைக் காந்தங்களும் செயற்கைக் காந்தங்களும்—காந்தங்களின் சில இயல்புகள் — பூமியே ஒரு பெரிய காந்தம்—ஒரு பொருளின் காந்தவியல்பை அறிதற்குப் பரிசோதனை—காந்தத்தூட்டம் —காந்தத்தின் காப்புத் திறனும் ஏற்புத் திறனும்—பரிசத்தால் காந்த மேற்றும் முறைகள்—ஒருதலைத் தேய்ப்பு—இருதலைத் தேய்ப்பு—மின்காந்த முறை—கூட்டுக் காந்தங்கள்—காந்தவியல்பு அழிதல் — காந்தத்தின் மூலகக் கொள்கை.]*



## அத்தியாயம் 2

### கூலம்பின் விதி (Coulomb's Law)

*[காந்தத் துருவங்களின் கவர்ச்சி, தவிர்ச்சி விதி—அலகுத் துருவம்—காந்தப் புலமும் சக்தி வரைகளும்—சக்தி வரையை வரைய முறைகள்—சக்தி வரைகளின் இயல்புகள்—பூமியின் காந்தப் புலம்.]*



## அத்தியாயம் 3

### காந்த அளவியல் (Magnetometry)

*[பூமியின் புலத்திலிடப்பட்ட ஒரு காந்தத்தின் மீது தொழிற்படும் சக்திகள்–ஒரு காந்தத்தைச் சார்ந்த*

புலத்தின் வலிமையைக் கணக்கிட—முனைநோக்கு நிலையும் புறநோக்கு நிலையும்—காந்தச் சட்டம் பூமியின் புலத்தில் வைக்கப்பட்டபோது உண்டாகும் பயனிலைப் புலத்தை வரைதல்—காந்தத்தின் துருவ நிலைகளைக் காண முறைகள்—காந்தமானி :—ஒற்றைத் துருவத்தின் வலிமையை அளத்தல்—காந்தப் புலன்களை ஒப்பிடுதல்—ஒரு காந்தச் சட்டத்தால் ஏற்படும் புலம்—இரண்டிடங்களில் பூமியின் காந்தப் புலங்களின் படுகைப் பிரிநிலைகளை ஒப்பிட முறைகள்—இரண்டு காந்தச் சட்டங்களின் காந்தத் திருப்பியல்களை ஒப்பிடுதல்—வருக்க எதிர்விகித விதியைச் சரிபார்த்தல்—ஒரு காந்தப் புலத்தில் தொங்கவிடப்பட்ட காந்தத்தின் ஆட்டம்—துடிப்புக் காந்தமானி—இக்கருவியால் செய்யப்படும் பரிசோதனைகள் :—பூமியின் படுகைப் புலத்தை இரண்டிடங்களில் ஒப்பிடுதல்—வருக்க எதிர்விகித விதியைச் சரிபார்த்தல்—காந்தத்தால் ஏற்படும் புலத்தை ஓரிடத்தில் அளத்தல்—இரண்டு குட்டையான காந்தங்களின் திருப்பியல்களை ஒப்பிடுதல்.]

---

## அத்தியாயம் 4

### பூமியின் காந்தவியல் (Terrestrial Magnetism)

[பூமியின் புலம்—கூட்டுப் புலத்திற்கும் பிரிநிலைப் புலங்களுக்கும் உள்ள உறவுகள்—பக்கச் சாய்வும் ஞாலப் படங்களும்—காந்த மூலகங்கள்—பெயர்ச்சியை அளத்தல்—காந்த துருவகத்தை ஓரிடத்தில் காணும் முறை—இறக்கத்தை அளத்தல்—பூமியின் படுகைப் புலத்தை அளத்தல்—பூமியின் புலத்தினலேற்படும் மாறுபாடுகள்.]

---

## அத்தியாயம் 5

### காந்தவியலில் சில விசேஷ அம்சங்கள்

### (Hysteresis, Para, Dia, magnetism)

*[காந்தவியல் தயக்கம்—இத்தயக்கத்தின் இயல்பைக் காணப் பரிசோதனையும் உருவகமும்—பல உலோகங்களில் காந்தவியல்பு காணப் பரிசோதனைகள்—அயக் காந்தங்களும் செறிவுக் காந்தங்களும்.]*

# மின்சாரவியல் (ELECTRICITY)



## அத்தியாயம் 1

### மின்-நிலையியல் (Static Electricity)

[மின்சாரச் சுமைகளில் இருவகை—இவற்றைக் காணப் பரிசோதனைகள்—ஒரு வகை மின்சாரச் சுமை ஏற்படும்போது அதே அளவுள்ள மற்ற மின்சாரச் சுமையும் உண்டாகிறது என்று காண—உகையும் பொருள்களும் உகையாப் பொருள்களும்—பொன்னிலை மின்காட்டி—அதற்குச் சுமையேற்றும் முறை—மின் னிலையியல் விதிகளை விளக்குதல்—மின்காட்டியைத் தீட்டத்தால் சுமையேற்றும் முறை-ஊட்டத்தால் சுமை யேற்றுதல்—மின்சுமையின் குறியைக் காணும் வகை —இருவகை மின்சுமைகளும் ஒரே சமயத்தில் ஏற்படு கின்றன என்று காட்ட—பொருள்கள் ஏற்றுக்கொள் ளும் மின்சுமை மேற்பரப்பின்மீதே தங்கி இருக் கும்—மின்சுமை இயந்திரங்கள்: மின்னூற்று, விசிறி மின் யந்திரம்—மின்சாரச் சுமைகளின் சக்தி விதிகள் —மின்புலத்தின் உறைப்பு—மின் புலத்திலுள்ள சக்தி வரைகள்—நிலைப்பு—நிலைப்பு வேற்றுமை அலகுகளும் அவற்றின் உறவுகளும்—செ.கி.செ. அலகும் பிரயோக அலகும்—மின்னலும் இடியும்—இடிதாங்கியின் தத்து வம்.]

---

## அத்தியாயம் 2

### மின்சார அருவி (Current Electricity)

[மின்சார அருவியின் உபமிதி—நிலைப்பு வேற் றுமை—சாதாரண வால்டாய்க் கடம்—இதிலேற்படும்

குறைபாடுகளும் அவற்றை நிவர்த்திக்கும் முறைகளும்—'டேனியல்' கடத்தின் அமைப்பு—'லக்ளாஞ்ச்' கடமும் அதன் தொழிற்படு முறையும்—இரு குருமிகைக் கடம்—உலர்ந்த கடங்கள்—கட்டலைக் கடங்கள்—'குரோவின்' கடமும் 'புன்ஸனின்' கடமும்—துணைக் கடங்கள்—ஈயச் சேமம், எடிஸன் சேமம் ஆகியவற்றின் அமைப்பும் அவற்றிலேற்படும் இரசாயன மாறுபாடுகளும்—கடங்களை அணிவகுத்தல்:—தொடர் வகுப்பு, இணைவகுப்பு, இரு தொடர் வகுப்பு முதலியன—பலவித சாவிகளும் அவற்றின் உபயோகங்களும்—பலவித மாற்றங்களும் அவை தொழிற்படு முறையும்.]

---

# அத்தியாயம் 3

## மின்னருவியின் காந்தவியல் விளைவுகளும் மின்னோட்டமானியின் தத்துவமும்

## (Magnetic Effects of Electric Current and Principle of Galvanometer)

[காந்தவியல் விளைவுகளைப் பரிசோதித்தல்—பரிசோதனைகளின் முடிவை எடுத்துக்கூறச் சில விதிகள்—அருவியை அதன் காந்தவியல் விளைவினால் அளத்தல்—அலகு அருவியின் இலக்கணம்—மின்னோட்டங் காட்டியின் தத்துவம்—பரிச மின்னோட்டமானியின் தத்துவமும் வாய்பாடும்—பரிச மின்னோட்டமானியின் அமைப்பும் அருவியை அளத்தற்கு அதைச் சரிப்படுத்துதலும்—இக்கருவியின் பெருக்ககுணியம்—இக்கருவியின் நுணுக்கத்தைக் கையாளும் முறைகள்—இயங்கு சுருள் மின்னோட்டமானியின் தத்துவம்—ஒரு உகைவியின் மீது தொழிற்படும் சக்தியின் பரிமாணத்தையும் திசை

*யையும் காணும் விதிகள்—அவற்றைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல், இயங்கு சுருள் மின்னோட்டமானியின் வருணனை--ஆம்பியர் மானியும் மின்மட்டமானியும்.]*

---

## அத்தியாயம் 4

### ஒமின் விதியும் அதைச் சரிபார்த்தலும்
### (Ohm's Law and Its Verification)

*[சில பரிசோதனைகளின் முடிவும் ஓமின் விதியும் --'ஓம்' என்னும் அலகுத்தகைவு--ஓமின் விதியைச் சரிபார்த்தல் :--மின்மட்டமானி-- ஆம்பியர் மானி முறை—பரிச மின்னோட்டமானி முறை--கடத்தின் முறை--தொடரிலும் பிணைவிலும் பிணைக்கப்பட்ட தகைவுகளின் பயனிலைத்தகைவு--தகைவும் உகைவும்--உரிமைத்தகைவின் வரைவிலக்கணம்--உரிமை உகைவு--கிளைப்பிரிவின் தத்துவமும் அதன் உபயோகமும்--முழுமையான மண்டலத்தில் ஓமின் விதியைப் பிரயோகித்தல்--தொடரிலும் இணைவிலும் பிணைக்கப்பட்ட கடங்களில் அருவியின் பலம்—உச்சநிலை அருவியை அடைவதற்கு அமைப்பு--தகைவுகளையும் மின்னியக்க சக்திகளையும் அளத்தல்--தகைவுப்பெட்டிகளின் வகைகள்--தகைப்பு.]*

---

## அத்தியாயம் 5

### மின்னியல் அளவைகள்

### (Electrical Measurements)

*[தகைவை அளத்தல் :—ஈடிடும் முறை—வீட்ஸ்டன் வலையின் தத்துவம்—வீட்ஸ்டன் இணைப்பைக் கொண்டு தகைவை அளக்கும் முறை—தபால் ஆபீஸ் பெட்டியால் ஒரு தகைவை அளத்தல்—மின்னோட்டமானியின் தகைவை அளத்தல் :— அரை விலக்க முறை—கெல்வின் முறை—மின்கல அடுக்கின் தகைவை அளக்கும் முறை—உருவகம் வரைந்து மின்கல அடுக்கின் தகைவை நிர்ணயித்தல்—கடங்களின் மின்னியக்க சக்திகளை ஒப்பிடுதல் :—மின்னோட்டமானியையும் ஒரு தகைப்பையும் கொண்டு செய்யும் முறை—கூட்டல் கழித்தல் முறை—நிலைப்புமானி:—தத்துவம், வருணனை —இரண்டு கடங்களின் மின்னியக்க சக்திகளை ஒப்பிடுதல்—கூட்டல் கழித்தல் முறை.]*

---

## அத்தியாயம் 6

### மின்னருவியின் வெப்பவியல் விளைவுகள்

### (Heating Effects of Electric Current)

*[அருவி தான் செல்லும் உகைவியைச் சூடேறச் செய்தல்—விசையை அளப்பதற்கு அலகுகள்—ஜூலின் விதிகள்—இவ்விதிகளைச் சரிபார்ப்பதற்குப் பிரத்தியேகமான உஷ்ண நிறைமானி—J-யை அளக்கப் பரிசோதனைகள்—ஒரு திரவத்தின் வெப்ப உரிமையை அளத்தல் —ஜூலின் விதியைச் சரிபார்ப்பதற்குப் பரிசோதனைகள்*

—J. $H = C^2Rt$ என்னும் உறவில் $R$, $t$ மாறுதிருக்க வெப்பம் அருவியின் வருக்கத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது. $C$, $t$ மாறுதிருக்க வெப்பம் $R$-க்கு ஏற்பவுள்ளது—$C$, $R$ மாறுதிருக்க வெப்பம் நேரத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது.]

## அத்தியாயம் 7

### மின்னருவியின் இரசாயன விளைவுகள்
### (Chemical Effects of Electric Current)

*[மின்னூட்டமும் மின்னூட்டிகளும்—மின்னூட்டத்தை ஒரு பரிசோதனையால் காணல்—பாரடேயின் மின்னூட்ட விதிகள்—மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமை—'ஒல்டா' மானி வகைகளும் அவற்றின் வருணனையும்—நீரகத்தின் மின்னியக்க ஒப்புமையைக் கணக்கிடப் பரிசோதனை—செம்பின் மின்னியக்க ஒப்புமையைக் கணக்கிட—பாரடேயின் விதிகளைச் சரிபார்க்கும் முறை—மின்னூட்டப் பரவல்—இயனிகரணம்.]*

## அத்தியாயம் 8

### மின்சார சக்தியின் சில உபயோகங்கள்
### (Technical Applications of Electricity)

*[மின்காந்த சாதனங்கள் :—மின்சாரமணி—மின்சாரத் தந்தியில் செய்தி அனுப்பும் முறை—மோர்ஸின் ஒலிக்கருவி—அஞ்சல்—தொலைப்பேசி :—பெல் என்ப*

வரின் தொலைப்பேசி—கரித்தூள் தொலைப்பேசி (மைக்)—செய்தி அனுப்பும் முறை—டைனமோ :—இதன் தத்துவம், உபயோகங்கள், வகைகள்—இதை இயக்கப் பயன்படும் சக்திகள்—மின்சார மோட்டார் :—தத்துவம், தொழில் முறை, உபயோகங்கள்—தழல் விளக்கு, சுடர் விளக்கு, மின்சார அடுப்பு இவைகளின் தத்துவமும் உபயோகங்களும்—மின்னாற்றலை அளத்தற்கு அலகு—மின்சார மீடர்—மின்னூட்டத்தின் உபயோகங்கள் :—மின் பூச்சிடும் முறை—மின்சார அச்செடுத்தல்—செப்புத் தகடுகளைச் சுத்தப்படுத்தும் முறை—மின்சாரக் கெட்டில்.]

---

## அத்தியாயம் 9

### பௌதிக இயலின் நவீனங்கள் (Modern Physics)

[ஒரு காந்தப் புலத்தின் வலிமை மாறுபடுவதால் மின்னருவி ஏற்படுகின்றதென்று காண—மின்சார ஊட்டவிதி—ஊட்டற் சுருளின் தத்துவம்—உயர்ந்த பாழ்மையுள்ள இடத்தில் மின்சாரப் பாய்ச்சல்—ஒரு பரிசோதனையால் மின்சாரப் பாய்ச்சலின் தன்மையைக் காண—குறைக்கதிர்களின் இயல்புகளைப் பரிசோதனையால் காண—மின்னூருக்களின் வாதம்—ஊட்டத்தால் மின் சுமை ஏற்றுவதின் விளக்கம்—'X' கிரணங்களின் உபயோகங்கள்—'X' கிரணக் குழாய்—இக் கிரணங்களின் இயல்புகள்—அணுவின் அமைப்பைப் பற்றிய முடிபுகள்—அவற்றைப்பற்றிய விசாரணைகள்—எளிய அணுக்களின் அமைப்பு—பரிதியம், கல்லியம் முதலிய அணுக்கள்—மிகை முனைக் கதிர்கள் :—ஜெ. ஜெ. தாம்ஸனின் ஆராய்ச்சி — 'ஆஸ்டின்' என்பவ

ரின் முடிபுகள்—கதிரியக்கம் :—'ஹென்றி பெக்குவரல்' என்பவரின் ஊகை—கதிரியம் என்னும் தாது—கதிரியக்கக் கிரணங்களின் இயல்புகள்—இக்கிரணங்களின் வகைகளும் அவ்வவற்றின் தன்மைகளும்—கதிரியக்கச் சிதைவு—இரச வாதத்தின் உண்மை—அணுவை அமைத்தல்—அணு ஆற்றல்—தொலைப்பேசி, வானக தொலைப்பேசி அல்லது ரேடியோ—பேசுதலும் கேட்டலும்—கம்பி ஒலினியின் தத்துவமும் தொழிற் பாடும்—பெரும்பாலும் உபயோகப்படும் தொலைப்பேசியின் அமைப்பு—ஒளி அலைகளும் வானக அலைகளும்—வானக தொலைப்பேசியின் தத்துவம்—செய்தி அனுப்பும் முறை—துடிப்பகம், திருத்தகம் இவற்றின் தொழிற்பாடு—செய்தியை ஏற்கும் கருவி—வானி, உடனியக்கி, ஒலியகம் ஆகியவற்றின் செயல்கள்—மின்காந்த அலைகளைப்பற்றிய விரிவுரைகள்—கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளிக் கிரணங்கள்—அகச் சிவப்புக் கிரணங்களும் புற ஊதாக் கதிர்களும்—வானக அலைகள்—விண்ணியல் கதிர்கள்.]

# சொல்லகராதி (GLOSSARY)



## அ

அகச்சிவப்புக் கிரணங்கள் - Infra red rays.
அகடு - Trough.
அகத்தகைவு - Internal resistance.
அகவடிவு - Shape.
அகப்சிமானி - Dilatometer.
அகேட் - Agate.
அக்கிரம் - Vertex.
அங்கவடி - Stirrup.
அங்குச நாளி - Siphon.
அங்குசப் பாரமானி - Siphon barometer.
அஞ்சல் - Relay.
அடர்த்திகள் - Condensations.
அடிப் பவுண்டல் - Foot-poundal.
அடி வரை - Base-line.
அடி வாய் - Plan.
அடிவாரம் - Base of Support.
அடுக்கம் - Frequency.
அடுக்கியல் வரை - Logarithmic curve.
அடை - Armature.
அட்சரேகை - Latitude.
அணிமை எல்லை - Near point.
அணு இயக்க வாதம் - Kinetic theory of gases.
அணு-எண் - Atomic number.
அணு-நிறை - Atomic weight.
அணு-வெப்பம் - Atomic heat.
அண்டைச்சிறை - Adjacent side.

அதீதக் குளிர்நிலை - Supercooling.
அநுருபகோணம் - Corresponding angle.
அந்திமம் - Antimony.
அ. ப. செ. திட்டம் - F. P. S. System
அம்பர் - Amber.
அயக்காந்தவியல் - Ferro-magnetism.
அரத்தூள் - Iron Filings.
அருக்கம் - Retardation.
அருந்து தொகுதிகள் - Absorption bands.
அலிச்சம நிலைமை - Neutral equilibrium.
அலியுரு - Neutron.
அலோகம் - Non-metal.
அலை-இயக்கம் - Wave motion.
அவதிக் கோணம் - Critical angle.
அவதிச் சூடு - Critical Temperature.
அழுத்தம் - Thrust.
அளவி - Scale.
அளவியல் சாடி - Graduated jar.
அறச்சிறிது - Infinitely Small.
அக்ஷிப் படலம் - Retina.

## ஆ

ஆக்கப்புள்ளி - Generating point.
ஆக்கம் - Influence.
ஆடி - Mirror.
ஆட்டமையம் - Centre of Oscillation.
ஆட்டம் - Oscillation.
ஆபெராக் கண்ணுடி - Opera glasses.
ஆம்பியர் - Ampere.
ஆம்பியர்மானி - Ammeter.
ஆயதம் - Ellipse.
ஆயம் - Co-ordinate.
ஆரகம் - Strontium.
ஆரக்கதிர் - Radius Vector.

ஆரங்கள் - Spokes.
ஆல்பா கிரணங்கள் - $\alpha$ (alpha) rays.
ஆவி அறை - Steam Chest.
ஆவி இறுக்கம் - Vapour Pressure.
ஆவிக்கண் - Steam Port.
ஆறுதகலம் - Thermos flask.
ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி - Conservation of energy.
ஆற்றல் மதிப்பு - Energy level.
ஆற்றுக்கலம் - Condenser (Chemical).
ஆனக அடுக்கம் - Audio frequency.

## இ

இசிவு - Stress.
இசைக்கவடு - Tuning fork.
இசைக்குழாய் - Organ pipe.
இசைக்கூடு - Sound box.
இசையியல் இடைகள் - Musical intervals.
இசையொலிகள் - Musical sounds.
இசை வரை - Sine curve.
இச்சைப்படி நிறுத்தும் கடியாரம் - Stop-clock.
இடம்புரி - Anticlockwise.
இடை - Pitch of a screw.
இணைகரக் கட்டி - Parallelepiped.
இணைகரம் - Parallelogram.
இணைக்கவட்டு ஆடி - Parabolic mirror.
இணைக்கற்றை - Parallel pencil.
இணைத்தல் - Parallel connection.
இணைவதுப்பு - do.
இயக்க ஆற்றல் - Kinetic energy.
இயக்கவியல் ஒப்புமை - Dynamical equivalent.
இயங்கும் அணுதரிசனி - Travelling microscope.
இயந்திர சாதகம் - Mechanical advantage.
இயந்திரத்தின் திறமை - Efficiency of a machine.
இயந்திரவியல் - Mechanics.

இயற்கை அடுக்கம் - Natural frequency.
இயனி - Ion.
இயனி கரணம் - Ionisation.
இரசதக் கந்தகை - Mercurous sulphate.
இரசாயன ஆப்பு - Chemical constitution.
இரட்டினது திருப்பியல் - Moment of a couple.
இரட்டை - Couple.
இருதழி வில்லை - Biconcave lens.
இருதவி வில்லை - Biconvex lens.
இறக்கம் - Dip.
இறக்க வட்டம் - Dip circle.
இறுகிய காற்று - Compressed air.
இறுக்க உருவகம் - Barograph.
இறுக்க மானி - Manometer.
இறுக்கம் - Pressure.
இறைப் புருளை - Windlass.
இனப் பரிமாணம் - Same order of magnitude.

ஈ

ஈயக் கந்தகை - Lead Sulphate.
ஈர அளவியல் - Hygrometry.
ஈர மானி - Hygrometer.
ஈராரி - Bisector.

உ

உகைத்தல் - Conduction.
உகையாப் பொருள் - Non conductor.
உகையும் பொருள் - Conductor.
உகைவி - Do.
உச்சக்கோட்ட வியல்பு - Most refrangible.
உச்ச நிலை - Maximum position.
உடல் உஷ்ணநிலைமானி - Clinical Thermometer.
உடனியக்கம் - Resonance.
உடனியக்கி - Tuner.

உடனியல் துடிப்பு - Sympathetic vibration.
உட்செவிச் சவ்வு - Basilar membrane.
உட்டுளை - Hollow.
உட்டுளை கொண்ட உருளை - Hollow cylinder.
உணர்வுக் கூர்மை - Sensibility.
உண்மை - Truthfulness.
உத்தி - Term.
உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி - Conservation of momentum.
உந்தம் - Momentum.
உபகரணம் - Apparatus.
உபச்சாயை - Penumbra.
உபமிதி - Analogy.
உப்புக்கரை நீர் - Salt solution.
உயிரியல் - Biology.
உராய்வுச் சிக்கல் - Sliding friction.
உரிமைத்தகைவு - Specific resistance.
உருகிகள் - Fuses.
உருக்கிய பளிங்கு - Silica.
உருத்துலக்கி நீர் - Developer solution.
உருவப்படப் பெட்டி - Photographic camera.
உருளை - Cylinder.
உருளை வில்லை - Cylindrical lens.
உவரத்துறை கந்தகை - Sodium hypo-sulphite.
உவரச்சுடர் - Sodium flame.
உவரம் - Sodium.
உள்ளியம் - Arsenic.
உறிஞ்சு தாள் - Blotting paper.
உறிஞ்சு திறமை - Absorptive power.
உறை நிலை - Freezing point.
உறைப்பு - Intensity.
உறையும் கலவை - Freezing mixture.
உஷ்ணநிலைமானி - Thermometer.
உஷ்ண நிலைமானியியல் - Thermometry.
உஷ்ணநிறைமானி - Calorimeter.

ஊ

ஊகம் - Proposition.
ஊசிக்கண் பெட்டி - Pin-hole Camera.
ஊட்டச் சுருள் - Induction coil.
ஊட்டத்தால் சுமையேற்றல் - Electrification by induction.
ஊட்டப்பான்மை - Inductance.
ஊடுருவி - Secant.
ஊதிதம் - Iodine.
ஊதுலை - Blow pipe.
ஊற்றுக்கண் - Source.
ஊற்றுப்பேனு - Fountain pen.

எ

எச்ச காந்தம் - Residual magnetism.
எடை- Weight.
எடை உஷ்ணநிலைமானி - Weight thermometer.
எதிரொலி - Echo.
எதிர்த் துறைமுனை - Anticathode.
எதிர் சக்திகள் - Unlike forces.
எதிர் தாக்கம் - Reaction.
எதிர்மறை - Negative.
எதிர்முடி - Antinode.
எதிர் வேர்னியர் - Reverse vernier.
எர்க்கு - Erg.
எளிய இசை இயக்கம் - Simple Harmonic Motion.

ஏ

ஏற்பநேராகவுள்ளது - Directly proportional.
ஏற்புத்திறன் - Susceptibility.

ஒ

ஒத்த சக்திகள் - Like forces.
ஒத்த தொடர்புள்ள அளவுகள் - Relative dimensions.

ஒத்த தொடர்புள்ள தூரங்கள் - Relative distances.
ஒத்த தொடர்புள்ள மதிப்பு - Relative value.
ஒதுக்கிடம் - Clearing space.
ஒதுங்குமையமாக - Eccentrically.
ஒப்புமை ஈரம் - Relative humidity.
ஒப்புமைச் செறிவு - Relative density.
ஒப்புமை நிறை - Equivalent mass.
ஒருதளப் பார்வை - Astigmatism.
ஒருவழிக் கதவு - Valve.
ஒரே தளச் சக்திகள் - Coplanar forces.
ஒரே தளம் - Same plane.
ஒரே போக்கு - Same sense.
ஒரே முக சுழற்சி முறையில் - In the same cyclic order.
ஒலி நாண்கள் - Vocal chords.
ஒலியகம் - Detector.
ஒளி இறுக்கமான - Light tight.
ஒளிக்கற்றை - Pencil of rays.
ஒளிக்கிரணம் - Ray of light.
ஒளிதரு திறமை - Illuminating power.
ஒளிநெருக்கம் - Intensity of Illumination.
ஒளிமானி - Photometer.
ஒளியாற்றல் - Light energy.
ஒளியியல் செறிவு மிகுந்தது - Optically denser.
ஒளியியல் மின்கடம் - Photo electric cell.
ஒளி வீழ்ச்சி - Luminous cascade.
ஒற்றைச்சிறகு விமானம் - Monoplane.
ஒற்றைத்தந்தி - Monochord.




ஓரியல் பக்கச்சாய்வு வரைகள் - Isogonal lines.
ஓடி - Fluid.
ஓட்டோ சுழல் - Otto cycle.

## க

கங்கண கிரகணம் - Annular solar eclipse.
கட்டி உருளை - Solid cylinder.
கட்டு - Accommodation.
கணக்குப் புள்ளி - Mathematical point.
கணு - Link.
கண்காணி - Governor.
கண்டு - Bobbin.
கஃடு - Spool.
கண்ணறைச்சாடி - Porous pot.
கண்ணி - Trap.
கண்ணினுள் மணி - Pupil.
கண்ணினது ஒத்தியங்குதிறம் - Accommodating power of the eye.
கண்பார்வையின் உச்ச தூரம் - Maximum distance of distinct vision.
கண் பார்வையின் நீச தூரம் - Least distance of distinct vision.
கதி - Velocity.
கதித்தகவு - Velocity ratio.
கதிரியக்கச் சிதைவு - Radio-active disintegration.
கதிரியக்கம் - Radio-activity.
கதிரை - Radian.
கதிர் - Spindle.
கதிர்க்கற்றை - Pencil of rays.
கதிர்ப்பு - Radiation.
கதிர்ப்புக் குறைவு - Radiation losses.
கதி வளைவு - Velocity curve.
கந்தகக்காடி - Sulphuric acid.
கந்தக இருதீயதை - Sulphur dioxide.
கந்தழி முளை - Infinity plug.
கப்பி - Block.
கரணம் - Construction.
கரவு வெப்பம் - Latent heat.

கரிநீர்ப்பாகு - Glycerine.
கரியாவி - Coal gas.
கரியிரு தீயதை - Carbon dioxide.
கரியிரு கந்தகை - Carbon-di-sulphide.
கருக்கள் - Nuclei.
கருவிழி - Iris.
கலவை - Alloy.
கலை - Minute.
கல்நார் - Asbestos.
கவராசம் - Pair of dividers.
கவர்ச்சி - Attraction.
கவர்ச்சி உரிமை - Specific gravity.
கவர்ச்சி மாறிலி - Gravitational constant.
கவர்ச்சி மையம் - Centre of gravity.
கவர்ச்சி விதி - Law of Gravitation.
கவிகை - Condenser (optical).
கவ்வி - Pinch cock.
கற்பனைப் பரப்பு - Imaginary surface.
கனலி - Calorie.
கனலிகை - Caloric.

கா

காடி - Acid.
காட்சிக்கோணம் - Visual angle.
காட்சியின் நீடிப்பு - Persistence of vision.
காட்சிப்பகுதி - Eye piece.
காண்போன் - Observer.
காந்த அளவியல் - Magnetometry.
காந்த இருசு - Magnetic axis.
காந்த ஊட்டம் - Magnetic induction.
காந்தச்சட்டம் - Bar magnet.
காந்தத் திருப்பியல் - Magnetic moment.
காந்தத்தின் மூலகக்கொள்கை - Molecular theory of magnetism.
காந்தத் துருவகம் - Magnetic meridian.

காந்தப் பற்றுதல் - Coercivity.
காந்தப் புயல் - Magnetic storm.
காந்தப் புலம் - Magnetic field.
காந்தமானி - Magnetometer.
காந்த மூலகங்கள் - Magnetic elements.
காந்தவியல் - Magnetism.
காந்தவியல் தயக்கம் - Hysteresis.
காந்தவியல்பு அழிதல் - Demagnetisation.
காப்புகள் - Keepers.
காப்புத்திறன் - Retentivity.
காமா கிரணங்கள் - $\gamma$ (gama) Rays.
காலகக்காடி - Nitric acid.
காலகம் - Nitrogen.
காற்றின் தகைவு - Resistance of air.
காற்று அணை - Air cushion.
காற்றுக் கதவு - Air valve.
கான்றல் திறமை - Emissive power.

கி

கிடைப்படம் - Plane.
கிரணக்கற்றை - Pencil of rays.
கிரணித்தல் - Radiation.
கிராம் எடை - Gram weight.
கிலோகிராம் - Kilogram.
கிலோமீடர் - Kilometer.
கிளைப்பிரிவு - Shunt.

கீ

கீழெண் - Denominator.
கீற்றுகள் - Stripes.

கு

குடம் - Hub.
குணியம் - Factor.

துண்டு - Bob.
துதிரைகள் - Bridges.
துதிரை விசை - Horse power.
குருட்டு வாய் - Blind spot.
குவிகற்றை - Convergent pencil.
குவிப்பு - Dioptre.
குவிய நீளம் - Focal length.
குவியப்படுத்தல் - Focussing.
குவியாடி - Convex mirror.
குவிவில்லை - Convex lens.
குழங்கை - Crank.
குழலுருளை - Socket.
குழாய்க் கவடு - '**U**' tube.
குழியாடி - Concave mirror.
குழிவில்லை - Concave lens.
குழிவிளிம்பு வில்லை - Concave meniscus.
குளிர்வரை - Cooling curve.
குறியியல் - Algebraical.
குறுக்கலைகள் - Transverse waves.
குறுக்து அழுத்தம் - Normal Thrust.
குறுங்குழாய் - Pipette.
குறைத்துருவக் கதிர்கள் - Cathode rays.

### கூ

கூட்டுக் காந்தங்கள் - Compound magnets.
கூட்டுப்புலம் - Resultant field.
கூட்டெண் - Valency.
கூருருளை - Cone.
கூலூம் - Coulomb.

### கெ

கெய்ஸ்லர் குழாய் - Geislar tube.

## கே

கேவலக்கோட்டப் பான்மை - Absolute refractive index.
கேள்வி நரம்புகள் - Auditory nerves.
கேள்வி வரம்புகள் - Limits of audition.

## கொ

கொதிநிலை - Boiling point.
கொதிநிலைமானி - Hypsometer.
கொள்திறன் - Capacity (Electrical).

## கோ

கோட்டக்கோணம் - Refracting angle.
கோட்டப்பான்மை - Refractive index.
கோட்டம் - Refraction.
கோட்ட விளிம்பு - Refracting edge.
கோட்டு விரியல் - Line spectra.
கோணமானி - Protractor.
கோமேதகம் - Sapphire.
கோள ஆடி - Spherical mirror.
கோளமானி - Spherometer.
கோளவியல் பிறழ்ச்சி - Spherical aberration.

## ச

சகடும் இருசும் - Wheel and axle.
சகடை - Pulley.
சக்தி - Force.
சக்தி இணைகரம் - Parallelogram of forces.
சக்திகளின் திருப்பியல் - Moment of forces.
சக்திப்பலகோண விதி - Polygon of forces.
சக்தி முக்கோணம் - Triangle of forces.
சக்தி வரைகள் - Lines of force.
சதுரங்கத்தாள் - Graph paper.
சதுரம் - Square.

சமசீராய் - Symmetrically.
சம சீர்மை - Symmetry.
சமதள ஆடி - Plane mirror.
சமநிலை - Equilibrant.
சமநிலைகளின் நிலைப்பேறு - Stabilty of equilibrium.
சமநிலைமை - Equilibrium.
சமநிலை மையம் - Equilibrium position.
சமனிகள் - Isotopes.
சமீகரணம் - Equation.
சம்மட்டி - Hammer.
சரிக்கும் இசிவு - Shearing stress.
சர்வ சமம் - Congruent, equal in all respects.
சல்லடைத் தாரை - Disc siren.

சா

சாமணம் - Forceps.
சாமானிய திரவமானி - Common Hydrometer.
சாம்பர நீருடையி - Potassium hydrate.
சாம்பரம் - Potassium.
சாயை - Umbra.
சாய்வு - Sine.
சாய்வு சாரம் - Inclined plane.
சாராயமட்டம் - Spirit level.
சாராயம் - Spirit.
சாரி - Rider.
சார்லஸின் விதி - Charles' law.
சாவி - Key.
சாளேசரம் - Short sight or myopia.
சான்றுகள் - Evidences.

சி

சிக்கல் சாரி - Friction rider.
சிறந்த உகைவி - Good conductor.
சிறை - Side.
சிறை - Arm.

சீ

சீரான புலம் - Uniform field.
சீரொத்த - Homogeneous.
சீரொவ்வாத - Non-homogeneous.

சு

சுண்ண விளக்கு - Lime light.
சுதைய பாசிதை - Calcium chloride.
சுமை தூக்கி - Crane.
சுமை நீக்குகிறது - Discharges.
சுயம்பிரகாசமான பொருள்கள் - Self-luminous bodies.
சுயம் பிரகாசமில்லாத பொருள்கள் - Non-luminous bodies.
சுருதி - Pitch.
சுருதிமானி - Sonometer.
சுவடு - Path.
சுழலகம் - Fulcrum.
சுழலி - Rotor.
சுழல் கதி - Angular velocity.

சூ

சூசிகை - Pointer.
சூடு - Temperature.
சூட்டிணைப்புக் கருவி - Thermocouple.
சூட்டுச்சரிவு - Temperature gradient.
சூழல் - Surrounding space.
சூழ் வட்டமையம் - Centre of circumcircle.
சூன்யப்பிழை - Zero error.
சூன்யப்புள்ளி - Null point.
சூக்ஷ்ம அணுதரிசனி - Compound microscope.

செ

செ. கி. செ. திட்டம் - C. G. S. System.
செங்கட்டி - Cube.

செங்கோணம் - Right angle.
செப்புக் கந்தகை - Copper sulphate.
செப்புக்கந்தகைக் கரைநீர் - Copper sulphate solution.
செம்மையம் - Centroid.
செறிவு - Density.
செறிவுக்கலம் - Density bottle.
செறிவுக்காந்தவியல் - Paramagnetism.
சென்டிகிரேட் திட்டம் - Centigrade system.

## சே

சேமம் - Accumulator.

## சொ

சொரூப மாறுபாடு - Change of form.

## சோ

சோதனைக்குழாய் மிதவை - Test tube float.
சோதனைத் துடுப்பு - Proof plane.
சோரியம் - Bromine.

## சௌ

சௌர நிறமாலை - Solar spectrum.

## டெ

டெக்காமீடர் - Deccameter.
டெஸிமீடர் - Decimeter.

## டை

டைன் - Dyne.

## த

தகவு - Ratio.
தகவுக் கைகள் - Ratio arms.
தகைபொருள் - Opaque body.

தகைப்பு - Rheostat.
தகைவி - Bad conductor.
தகைவுப் பெட்டி - Resistance box.
தகைவுப் பொருள் - Resistance.
தக்கை உருண்டை - Pith ball.
தட்டுச்சாவி - Tap key.
தட்ப யந்திரம் - Ice machine.
தந்தமுனை - Ivory index.
தந்திகளின் குறுக்குத்துடிப்பு - Transverse vibrations of strings.
தம்வயமாக - Freely.
தராசின் தங்குநிலை - Resting point of a balance.
தராசு - Balance.
தலைகீழ்ப்படிவம் - Inverted image.
தலைமாற்றுரை - Converse.
தவிர்ச்சி - Repulsion.
தழல் விளக்கு - Incandescent lamp.
தள-குவிவில்லை - Plano-convex lens.
தள-குழிவில்லை - Plano-concave lens.
தளர்த்திகள் - Rarefactions.
தனியியல் அகற்சிப்பான்மை - Absolute coefficient.
தனியியல் கோட்டப்பான்மை - Absolute Refractive index.
தனியியல் சூடு - Absolute temperature.
தனியியல் சூன்யம் - Absolute zero.
தன்வயமான துடிப்பு - Free vibration.

### தா

தாதுக்கள் - Elements.
தாழிறுக்கமானி - Barometer gauge.

### தி

திசைகாட்டி - Compass.
திசையற்ற இராசிகள் - Scalars.

திசையுற்ற இராசிகள் - Vectors.
திடப்பொருள் ஆவியாக நேரே மாறல் - Sublimation.
திரவமானி - Hydrometer.
திருகுமானி - Screw gauge.
திருத்தகம் - Modulator.

## தீ

தீட்டத்தால் சுமையேற்றுதல் - Electrification by conduction.
தீட்டம் - Conduction.

## து

துகள் - Particle.
துடிப்பகம் - Oscillator.
துடிப்புக்கண் - Vibrating source.
துடிப்புக் கண்டம் - Vibrating segment.
துணைக்கடம் - Secondary cell.
துணையளவி - Side scale.
துணைப்புலம் - Back ground.
துணையாய அமைப்பு - Co-ordinate system.
துருவம் - Pole.
துலாக்கோல் - Steel yard.
துலைச்சக்கரம் - Balance wheel.
துலைநேமி - Fly wheel.
துளங்கிசைக் கருவி - Oscillograph.

## தூ

தூக்கும் சக்தி - Lifting power.
தூம்பு - Nozzle.
தூரப்பார்வை - Long sight or hypermetropia.
தூரிகை - Brush.
தூர்தல் - Polarisation.
தூவி - Felt.

### தெ

தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம் - Saturated vapour pressure.
தெவிட்டிய கரைநீர் - Saturated solution.
தெவிட்டி யிருத்தல் - Saturated.
தெவிட்டும் எல்லை - Saturation limit.
தெளிபொருள் - Transparent body.
தென் துருவம் - South pole.

### தே

தேனிரும்பு - Soft iron.
தேன்மெழுது - Paraffin wax.

### தொ

தொகுத்தல் - Series connection.
தொடர்ந்த விரியல் - Continuous spectrum.
தொடர்ந்திசைக்கும் ஒலிகள் - Continuous sounds.
தொடர்பற்ற நிறமாலை - Absorption spectrum.
தொடர் வகுப்பு - Series connection.
தொடுவரை - Tangent.
தொடுவைத்தளம் - Tangent plane.
தொலைப்பேசி - Telephone.

### தோ

தோற்ற அகற்சி - Apparent expansion.
தோற்ற அகற்சிப்பான்மை - Coefficient of apparent expansion.
தோற்றப்படிவம் - Virtual image.
தோற்றப் பருமை - Apparent size.
தோற்றுவாய் - Origin.

### ந

நடுவரை - Equator.
நடுவன் - Median.
நவச்சார ஆவி - Ammonia.

நவச்சிய நீரகத்தீயதை - Ammonium hydroxide.
நவச்சியப் பாசிதைக் கரை நீர் - Ammonium chloride solution.
நழுவம் - Slide (lantern.)
நழுவும் திருது - Sliding ratchet.

## நா

நாலம் - Pendulum.
நாற்கோணம் - Quadrilateral.

## நி

நிகல்ஸன் திரவமானி - Nicholson's hydrometer.
நிமிர்வைத் தளம் - Vertical plane.
நிமிளயம் - Bismuth.
நியூட்டன் வர்ணத்தட்டு - Newton's colour disc.
நிரப்புக்கோணம் - Supplementary angle.
நிலவியலறிஞர் - Geologist.
நிலகம் - Nickel.
நிலுவை ஆயம் - Vertical ordinate.
நிலுவைப் புலம் - Vertical field.
நிலைத்த வாயு - Permanent gas.
நிலைப்பு - Potential.
நிலைப்பு ஆற்றல் - Potential energy.
நிலைப்புமானி - Potentiometer.
நிலைப்பு வீழ்ச்சி - Fall of potential.
நிலைப்பேறு - Stability.
நிலைமின்சாரம் - Static electricity.
நிலைமைகளின் தொடர்பு - Continuity of state.
நிலையற்ற சமநிலைமை - Unstable equilibrium.
நிலையான அலைகள் - Stationary waves.
நிலையான சமநிலைமை - Stable equilibrium.
நிலையியல் திரவமானி - Constant immersion hydrometer.
நிழல் - Shadow.

நிழல் போதுட்டு - Shadow cone.
நிறப்பிறழ்ச்சி - Chromatic aberration.
நிறமாலைமானி - Spectrometer.
நிறமாலை அளவியல் - Spectroscopy.
நிறை மையம் - Centre of mass.
நிறையற்ற சகடை - Weightless pulley.
நிறையுரு - Proton.
நிறைவி - Inflator.
நிறை-நிறமாலைக் கருவி - Mass spectrograph.

## நீ

நீக்கம் - Displacement.
நீசக்கோட்ட வியல்பு - Least refrangible.
நீச நிலை - Minimum position.
நீச நிலைத்தகைவு மார்க்கம் - Path of least resistance.
நீரப்பாசிகக் காடி - Hydrochloric acid.
நீரியல் தராசு - Hydrostatic balance.
நீரியல் தவிசு - Hydrostatic bench.
நீரியல் துருத்தி - Hydrostatic bellows.
நீர் இறுக்கமான - Water-tight.
நீர் ஒப்புமை - Water equivalent.
நீர் நிலையியல் - Hydrostatics.
நீர் முழுக்கி - Sinker.

## நு

நுணுக்கம் - Least count.
நுழைவாய் - Inlet.

## நெ

நெகிழக்கூடிய உகைவிகள் - Flexible leads.
நெட்டலைகள் - Longitudinal waves.
நெம்புகோலின் கை, சிறை அல்லது புஜம் - Arm of the lever.

நெம்புகோல் - Lever.
நெருக்கங்கள் - Condensations.
நெறி மாற்றி - Alternator.

## நே

நேத்திரநாடிகள் - Optic nerves.
நேரகக்கட்டி - Rectangular glass slab.
நேரகம் - Rectangle.
நேர்கோட்டுச் செலவு - Rectilinear propagation.
நேர் விகிதமாக - Directly proportional.
நேர் வெர்னியர் - Direct vernier.

## நொ

நொடி அருவிகள் - Instantaneous currents.
நொடி கதி - Instantaneous velocity.
நொடிகள் - Instants.

## ப

பக்கச்சாய்வில்லா வரைகள் - Agonic lines.
பக்கச் சாய்வு - Declination.
பஞ்சுக் கற்கள் - Pumice stones.
படலம் - Layer.
படிக்காரக் கரைநீர் - Alum solution.
படுகைச் சுக்கான் - Horizontal rudder.
படுகைப் புலம் - Horizontal field.
பண்பு - Quality.
பயனிலை - Resultant.
பரப்பு - Area.
பரப்புப் பிதுவு - Surface tension.
பரிச சக்தி - Tangential force.
பரிசத் திருகு - Tangent screw.
பரிசப் பரப்பு - Tangential surface.
பரிதி - Circumference.
பரிதியம் - Helium.

பரிவாரச் சுருதிகள் - Overtones.
பருப் பொருள் - Extended source.
பருமை - Volume.
பல கோண விதி - Polygon law.
பல் சக்கரம் - Toothed wheel.
பல்லுருளை - Turbine.
பவன இறுக்க உயரம் - Atmospheric height.
பவன இறுக்கம் - Atmospheric pressure.
பவனச் சூடு - Atmospheric temperature.
பவன சோதனை நிலையம் - Meteorological station.
பவனம் - Atmosphere.
பவுண்டல் - Poundal.
பனிக்கலம் - Refrigerator.
பனி நிலை - Dew point.
பனியறை - Cloud chamber.

### பா

பாகுபாடு - Analysis.
பாணி - Metronome.
பாதமின்மானி - Quadrant electrometer.
பாரடேயின் வண்ணாத்திப்பூச்சி வலை - Faraday's butterfly net.
பாரன்ஹீட் திட்டம் - Fahrenheit system.
பார்சுவ சந்திர கிரகணம் - Partial lunar eclipse.
பார்வைக் குறைவு - Short sight or myopia.
பார்வைப் பகுதி - Object glass.
பார்வை மூப்பு - Presbyopia.
பாழிடம், பாழ்மை - Vacuum.
பாஸ்கலின் கலங்கள் - Pascal's vases.
பாஸ்கலின் விதி - Pascal's law.

### பி

பிடிப்புத் திருகு - Binding screw.
பிணக்கம் - Discord.

பிணைப்புக் கம்பி - Connecting wire.
பிணையல் துவியங்கள், பிணையல் புள்ளிகள் - Conjugate foci.
பிந்துவாதம் - Quantum theory.
பிரதம அளவி - Principal scale.
பிரதம இருசு - Principal axis.
பிரதம துவியம் - Principal focus.
பிரதம தளம் - Principal plane.
பிரதம வெட்டுவாய் - Principal section.
பிரதான அடுக்கம் - Fundamental frequency.
பிரயோக அலகு - Practical unit.
பிரயோக சக்தி - Power.
பிரயோக நிலை - Point of application.
பிராணீகரணம் - Oxidation.
பிரான்ஹோபர் வரைகள் - Fraunhofer's lines.
பிரிட்டிஷ் திட்டம் - British system.
பிரேட்சை - Observation.
பிழம்பு மண்டிலம் - Photosphere.
பிறவயமான துடிப்பு - Forced vibration.
பிறைக்கோடு - Caustic curve.
பிறை விளக்கு - Arc lamp.
பின்னல் துடிப்பு - Complex vibration.
பின்னல் ஸ்வரம் - Complex note.
பின்னுதைவு - Recoil.

## பீ

பீச்சாங்குழல் - Syringe.
பீச்சான் - Piston.
பீடம் - Base.
பீட்டா கிரணங்கள் - $\beta$ (Beta) rays.

## பு

புகுவாய் - Collimator of a spectrometer.
புகைப்படப் பெட்டி - Photographic camera.

புடைபெயர்ச்சிப் பிழை - Parallax error.

புடை பெயர்ச்சி முறை - Parallax method.

புடை மாற்றம் - Lateral inversion.

புளூஸ் இறைவி - Fleuss pump.

புற ஆக்கம் - External agency.

புறஊதாக் கதிர்கள் - Ultraviolet rays.

புற-நோக்குநிலை - Broad-side-on position.

புற வாயில் - Exhaust pipe.

புறவாயில் கதவு - Outlet valve.

புனலியக்கவியல் - Hydro-dynamics.

புனல்-நிலையியல் - Hydrostatics.

புன்ஸனின் பனி உஷ்ணநிறைமானி - Bunsen's ice calorimeter.

## பூ

பூகோளத் துருவகம் - Geographical meridian.

பூமிக்கவர்ச்சியின் முடுக்கம் - Acceleration due to gravity.

பூமியின் காந்தவியல் - Terrestrial magnetism.

பூரகம் - Burette.

பூரகி - Aspirator.

பூரண அந்தரப் பிரதிபலனம் - Total internal reflection.

பூரி - Expand.

## பெ

பெயர்ச்சி இணைகரம் - Parallelogram of displacements.

பெருக்கக் குணியம் - Reduction factor.

பெருக்கம் - Magnification.

பெருவட்டம் - Great circle.

## பே

பேய்த்தேர் - Mirage.

### பை

பைக்னமீட்ர் - Pyknometer.
பைண்ட் - Pint.

### பொ

பொதுமைச் சௌர செகண்டு - Mean solar second.
பொதுமைச் சௌர நாள் - Mean solar day.
பொய்ப் படிவம் - Virtual image.
பொய்யாழம் - Apparent depth.
பொருள் - Body.
பொருள் பகுதி - Object glass.
பொழுதியல் சக்தி - Periodic force.
பொன்னிலை மின்காட்டி - Gold leaf electroscope.

### போ

போர்டா - Borda.

### ம

மங்கன இருதீயதை - Manganese dioxide.
மங்கிய பொருள் - Translucent body.
மட்டமுக்கோணம் - Right-angled triangle.
மண்டலம் - Circuit.
மணிச்சாடி - Bell jar.
மயக்கமருந்து - Chloroform.
மறிப்பகம் - Alternator.
மறிப்பு அருவி - Alternating current.
மறிப்புக்கோணம் - Alternate angle.

### மா

மாக்டிபர்க் கிண்ணங்கள் - Magdeburg hemispheres.
மாறு இறுக்கப்பருமை அகற்சிப்பான்மை - Coefficient of volume Expansion under constant pressure.

மாறுப்பருமை இறுக்க மிதுதிப்பான்மை - Coefficient of increase of pressure under constant volume.
மாறியல் - Variable.
மாறியல் அகலம் - Variable width.
மாறியல் செறிவு - Variable density.
மாறியல் திரவமானி - Variable immersion hydrometer.
மாறிலி - Constant.
மாறிலிக் குணியம் - Constant factor.
மாறுபடம் - Photographic negative.
மாறுமின்னருவி - Alternating Current.
மாற்றகம் - Commutator.

## மி

மிகைக்கதிர் பாகுபாடு - Positive ray analysis.
மிகைத்தகடு - Positive Plate.
மிகைத் துருவக் கதிர்கள் - Positive rays.
மிகையுரு - Positron.
மிசிர விதி - Law of mixtures.
மிதப்பு - Buoyancy.
மிதப்பு மையம் - Centre of buoyancy.
மின் கல அடுக்கு - Battery.
மின்காந்தம் - Electromagnet.
மின்சார அச்சேடுத்தல் - Electrotyping.
மின்சாரப் பூச்சிடுதல் - Electroplating.
மின்சுமை இயந்திரம் - Electrical machine.
மின் தகைவு - Electrical Resistance.
மின் துருவம் - Electrode.
மின்புலத்தின் உறைப்பு - Intensity of electric field.
மின்மட்டமானி - Voltmeter.
மின்னடுப்பு - Electric oven.
மின்னருவி - Electric current.
மின்னியக்க சக்தி - Electromotive force.

மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமை - Electro-chemical equivalent.
மின்னிலையியல் - Electro-statics.
மின்னிலையியல் அலகு - Electrostatic unit.
மின்னுருக்களின் மண்டலம் - Orbit of electrons.
மின்னுருக்கள் - Electrons.
மின்னுருத்தாழ் - Thermionic valve.
மின்னுருத் தாழ் பெருக்கி - Valve amplifier.
மின்னுழைவுப்பான்மை - Dielectric constant.
மின்னூட்டம் - Electrolysis.
மின்னூட்டி - Electrolyte.
மின்னூற்று - Eletrophorous.
மின்னோட்டங்காட்டி - Galvanoscope.
மின்னோட்டமானி - Galvanometer.

## மீ

மீட்சிக்கோணம் - Angle of reflection.

## மு

முகடு - Crest.
முகம் (அசையும்) - Phase.
முக்கோணம் - Triangle.
முக்கோணவியல் - Trigonometry.
முடிகள் - Nodes.
முடியாத மண்டலம் - Open Circuit.
முடுக்கம் - Acceleration.
முடுக்கு விசிறி - Propeller.
முதல் அலகுகள் - Fundamental units.
முப்பட்டை - Prism.
மும்மை - Third power.
முழக்கம் - Intensity.
முளைச் சாவி - Plug key.

முறைமாறலாய் - Reciprocal.
முனை எதிர் கோணம் - Vertically opposite angle.
முனை நோக்கு நிலை - End-on-position.
முன்னேறும் அலைகள் - Progressive waves.

## மூ

மூல இராசிகள் - Fundamental quantities.
மூலகம் - Molecule.
மூலைவரை - Diagonal.
மூலைவரை அளவி - Diagonal scale.

## மெ

மெக்லியாட் இறுக்கமானி - Macleod gauge.
மெட்ரிக் திட்டம் - Metric system.
மெய்ப் படிவம் - Real Image.
மெழுகு இழுது - Vaseline.

## மே

மேலெண் - Numerator.
மேல் முனை - Vertex.
மேற்புறம் குடிலமான - Concave upwards.

## மை

மைக் - Microphone.
மைய விலக்க சக்தி - Centripetal force.
மையுறிஞ்சும் பேனு - Self-filling pen.

## மோ

மோதுகோணம் - Angle of incidence.
மோதுவாய் - Point of incidence.

ய

யந்திரவியல் - Mechanics.

யா

யானம் - Medium.

ர

ரசப்பூரம் - Amalgam.
ரவை உள்ளாழி - Ball-bearing.

ரூ

ருமர் திட்டம் - Reaumer system.

ல

லக்ளாந்ச் கடம் - Leclanche cell.
லட்சியம் - Ideal.
லம்ப ஈரரி - Perpendicular Bisector.
லம்பம் - Normal.
லாமியின் ஊகை - Lami's Theorem.

லெ

லெய்டன் வாளி - Leyden jar.

வ

வகைப்பாடு - Calibration.
வடதுருவம் - North pole.
வடதுருவ வெள்ளொளி - Aurora Borealis.
வடிவியல் கணக்கீடு - Mensuration.
வடிவியல் சமசீர்மை - Geometrical symmetry.
வடிவியல்முறை - Geometrical construction.

வட்டத்துண்டு - Arc.
வட்டாவிய நாற்கோணம் - Cyclic quadrilateral.
வத்தித்திறன் - Candle power.
வரம்பிகந்த தூரம் - Infinite distance.
வரிநிறமாலை - Line Spectrum.
வருக்க மறிப்பு விதி - Inverse square law.
வருக்கமூலம் - Square root.
வரையி - Graphite.
வரைவிலக்கணம் - Definition.
வர்ணமண்டிலம் - Chromosphere.
வலம்புரி - Clockwise.
வலிமை - Intensity.
வழியலகுகள் - Derived units.
வழியும் கலம் - Overflow vessel.
வழுக்கும் கதவு - Slide valve.
வளாவிய - Dilute.
வளைவு ஆரம் - Radius of curvature.
வளைவு மையம் - Centre of curvature.

### வா

வாட்டு - Watt.
வாத்தியக்குழல் - Organ pipe.
வாயுச் சமீகரணம் - Gas equation.
வாயுக்கதவு - Gas valve.
வானக அடுக்கம் - Radio frequency.
வானக அலைகள் - Radio waves.
வானக தொலைப்பேசி - Wireless telephone.
வானவியல் - Astronomy.
வானவியல் கூடம் - Astronomical observatory.
வானவியல் தூரதரிசனி - Astronomical telescope.
வானவியல் நாள் - Astronomical day.
வானவியல் முறைகள் - Astronomical methods.
வானி - Aerial.

## வி

விகுதி - Suffix.
விசும்பு - Ether.
விசும்பு அலை - Electromagnetic wave.
விட்டம் - Diameter.
விட்டிசைக்கும் ஒலிகள் - Discontinuous sounds.
விண்ணியல் கதிர்கள் - Cosmic rays.
விண்ணுயர்த்தி - Lift.
விதானம் - Diaphragm.
விம்மல் - Beats.
விரவல் அருவிகள் - Convection currents.
விரவுதல் - Convection.
விரிகற்றை - Divergent pencil.
விரிகோணம் - Obtuse angle.
விலக்கம் - Deviation.
விலகுக்காந்தவியல் - Dia magnetism.
வில்லை - Lens.
வில்லையின் திறமை - Power of a lens.
விழி - Cornea.
விளக்கு நீர் - Developer solution.
விளக்குந்திரை - Fluorescent screen.
விளிம்பெல்லை - Outline.
விறைப்புப் பொருள் - Rigid body.

## வீ

வீச்சு - Amplitude.
வீச்சுவில்லை - Projecting lens.
வீச்சுவிளக்கு - Optical lantern.
வீட்ஸ்டன் இணைப்பு - Wheatstone's Bridge.
வீழ்ச்சி - Projection.

## வெ

வெண்தழல் நிலை - White heat.

வெப்ப அளவியல் - Calorimetry.
வெப்ப உகைவுப்பான்மை - Coefficient of thermal conductivity.
வெப்ப உரிமை - Specific heat.
வெப்ப உரிமையின் தகவு - Ratio of specific heats.
வெப்பக் கிரணங்கள் - Heat rays.
வெப்பக்கோட்டம் - Refraction of heat rays.
வெப்பத்தகைபொருள் - Adiathermanous substances.
வெப்பத்தெளிபொருள் - Diathermanous substances.
வெப்ப மனை - Hot house.
வெப்பம் - Heat.
வெப்பம் ஏந்தும் திறமை - Thermal capacity.
வெர்னியரின் நுணுக்கம் - Least count of a Vernier.
வெர்னியர் - Vernier.
வெர்னியர் காலிபர் - Vernier Callipers.
வெளிவாய் - Outlet.
வெள்ளிச்சோரிதை - Silver Bromide.
வெள்ளெழுத்து - Long sight or hypermetrophia.

## வே

வேகம் - Speed.
வேலைத் தத்துவம் - Principle of work.

## வோ

வோல்டாமானி - Voltameter.

## ஹெ

ஹெக்டாமீட்டர் - Hectometer.

## ஸ்

ஸ்பேர்மாஸெடி - Spermaceti.

## ஜ

ஜடத்வம் - Inertia.
ஜடத்திறன் - Moment of Inertia.

## ஜெ

ஜெலாடின் - Gelatine.

## X

'X' கதிர்கள் - 'X' Rays.

# பௌதிக நூல்

## இயந்திரவியல்

முதற் பாகம்

# அத்தியாயம் 1



## அலகுத் திட்டங்கள் (Units of Measurement)

பௌதிக வியல் பெரும்பாலும் திருத்தமாக அளவிடுதலை அடிப்படையாகக் கொண்டது. நாம் ஒரு இராசியை அளப்பதற்கு முன் அதை அளவிடுதற்குரிய அலகு ஒன்றைக் கைக்கொள்ளவேண்டும். ஆகையால் பௌதிக வியலைக் கற்றுக்கொள்வதற்கு முன்னுல் அதில் கையாளப்படும் அலகுகளைப் பற்றித் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். யந்திரவியலில் (Mechanics) அடிப்படையான மூன்று அலகுகள் உண்டு. இம்மூன்றின் வழி வந்த அலகுகளைக்கொண்டே மற்றெல்லா இராசிகளும் அளவிடப்படுகின்றன. அவையாவன : நீளம், காலம், நிறை. இவை மூன்றும் முதல் அலகுகள் (Fundamental units) எனப்படும். இவற்றின் வழிவந்த மற்ற அலகுகள் வழியலகுகள் (Derived units) எனப்படும். ஒரு பௌதிக இராசியை அளப்பதற்குரிய அலகு என்பது என்ன என்று இனிக் காண்போம்.

இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தை நாம் அளக்க வேண்டியிருக்கிறது என்று கொள்வோம். அதில் அளக்கப்படவேண்டிய பௌதிகராசி நீளம் ஆகும். இதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட நீளமுள்ள சட்டத்தை எடுத்து, அதை அப்புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தில் எத்தனை தரம் தொடர்ந்து வைக்க முடியுமென்று நாம் செய்து பார்க்கிறோம். அவ்வாறு பத்து முறை வைக்கக் கூடுமானல், நாம் அளந்த தூரம், சட்டத்தின் நீளத்தைப்போல் பத்து மடங்கு இருப்பதாகக் கூறுகிறோம். இந்த அளக்கும் முறையிலிருந்து ஒரு பௌதிக இராசியை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள அதே

இராசியால் அளக்கிறோமென்று தெரிகிறது. இவ்வாறு ஒரு பௌதிக ராசியை அளப்பதற்கு நாம் அதே ராசியில் எந்த அளவைக் கையாளுகிறோமோ, அந்த அளவே அப்பௌதிக ராசியின் அலகு எனப்படும். எனவே, அலகு என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறும் முறை வருமாறு: ஒரு பௌதிக ராசியை அளவிடுவதற்கு அதே ராசியில் கையாளப்படும் ஓர் குறிப்பிட்ட அளவு, அப்பௌதிக ராசியின் அலகு எனப்படும். மேலும்; ஒரு இராசிக்கும் அதன் அலகுக்கும் உள்ள தகவு (ratio) அந்த இராசியின் எண்மானம் அல்லது அளவு எனப்படும். எனவே, ஒரு இராசியைக் குறிப்பிடும்போது அதன் எண்மானத்தையும் அளவிட்ட அலகையும் உடன் கூட்டிச் சொல்லவேண்டும். (உ-ம்) 100 கஜ தூரமென்றால், இதில் கஜம் என்பது அலகு; 100 என்பது எண்மானம்.

நீளம், காலம், நிறை இவற்றின் அலகுகள் :—முதல் அலகுகளில் இரண்டு முக்கியமான திட்டங்கள் கையாளப்படுகின்றன—ஒன்று பிரிட்டிஷ் திட்டம்; மற்றொன்று மெட்ரிக் திட்டம். பிரிட்டிஷ் திட்டத்தில் நீள நிறை காலங்களின் அலகுகளாவன—கஜம், பவுண்டு, போதுமைச் சௌரசெகண்டு (Mean Solar second). இதை அடி, பவுண்டு, செகண்டு திட்டம் என்று கூறுவதுண்டு. (இதை அ. ப. சே. திட்டம் (F. P. S.) என்ற சங்கேதத்தால் குறிப்பதும் உண்டு.) நீளத்திற்குக் கட்டளையலகாகிய கஜம் என்பது, ஆங்கில நாட்டுப் பாராளுமன்றின் (Parliament in England) ஒரு விதியால் வரையறுக்கப்படும் முறை வருமாறு :—“நிதி மந்திரியின் காரியாலயத்தில் இருக்கும் வெண்கலச் சட்டத்தில் உள்ள இரண்டு பொன் முனைகளின் மீது வரையப்பட்ட குறுக்கு வரைகளுக்கிடைப்பட்ட நேர் கோடு அல்லது தூரமே, 62° F சூட்டில் உண்மையான

கட்டளையலகு ஆகும். இது கெட்டுப்போய் விட்டால், இதன் பிரதிகளைக்கொண்டு மறுபடியும் செய்து வைக் கப்படும்." கஜம் மூன்று சமபாகங்களாகப் பிரிக்கப் பட்டிருக்கிறது. அவை ஒவ்வொன்றும் ஒரு அடி யெனப்படும். இந்த அடி பின்னும் பன்னிரெண்டு சம பாகங்களாக வகுக்கப்பட்டுள்ளது. இவை ஒவ்வொன் றும் ஒரு அங்குலம் எனப்படும். இதே திட்டத்தில் நிறையின் கட்டளையலகு ஒரு பவுண்டு ஆகும். இது வும் முன் கூறப்பட்ட இடத்திலேயே வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு பிளாடினம் (Platinum) கட்டியின் நிறையாகும் என்று வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது.

காலம்—காலத்தின் அலகு பூமியின் சுழற்சியை அடிப்படையாகக்கொண்டது. செகண்டு எனப்படும் கால அலகு ஒரு பொதுமைச் சௌர நாளில் 86400-ல் ஒரு பங்காகும். பொதுமைச் சௌரநாள் (Mean Solar day) என்பது, சூரிய பிம்பம் உச்சி வரையை (meridian) இரண்டு தரம் அடுத்துக் கடப்பதற்கு இடைப்பட்ட நேரத்தை ஒரு ஆண்டு முழுதும் அளந்து எடுத்த பொதுமை அளவாகும். வானவியலில் (Astronomy) கையாளப்படும் கால அலகு ஒரு வான வியல் நாள் (Astronomical day) எனப்படும். இது, நிலையான நட்சத்திரங்களில் ஏதேனுமொன்று உச்சி வரையை இரண்டுதரம் அடுத்துக்கடப்பதற்கு இடைப் பட்ட நேரமாகும். பூமி சுற்றி வரும் மண்டிலத்தின் விட்டத்தைக் காட்டிலும், பூமிக்கும் நட்சத்திரங் களுக்கு மிடைப்பட்ட தூரம் பல்லாயிரமடங்கு பெரி தாய் இருப்பதால், பூமியையும் ஏதேனுமொரு நட்சத் திரத்தையும் சேர்க்கும் கோடு எப்போதும் தனக்குத் தானே இணையாக இருக்கிறது. இதனால் வானவியல் நாள் என்பது பூமி தனது இருசைச் சுற்றி ஒரு முறை சுழலுவதற்கு வேண்டிய காலமாகும். ஒரு வானவியல்

நாள் சௌரநாளின் அளவிலே 23 மணி 56 நிமிஷம் 4·09 செகண்டுகள் ஆகும்.

மெட்ரிக் திட்டம்:—இந்தத் திட்டத்திலே நீள நிறைகால அலகுகள் முறையே மீடர், கிலோ கிராம், பொதுமைச் சௌர செகண்டு ஆகும். இதையே சென்டிமீடர், கிராம், செகண்டு திட்டமென்று கூறுதலும் உண்டு. இதை சே. கி. சே. (C. G. S.) என்ற சங்கேதத்தால் குறிப்பது வழக்கம். மீடர் என்பது, பனியிளகும் சூட்டில், பாரிஸ் நகரில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு பிளாடினம் சட்டத்தின் நீளம் என்று வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. இதை நூறு சம பாகங்களாக வகுத்து, ஒவ்வொன்றையும் ஒரு சென்டி மீடர் என்று கூறுவர். இச்சென்டி மீடரைப் பின்னும் பத்து சமபாகங்களாக வகுத்து, ஒவ்வொன்றையும் ஒரு மில்லி மீடர் என்பார்கள். இவ்வாறே ஒரு மீடரில் பத்திலொரு பங்கை டேஸிமீடர் என்றும், ஒரு மீடரின் பதின்மடங்கை டேக்கா மீடர் என்றும், நூறு மடங்கை ஹேக்டா மீடர் என்றும், ஆயிரம் மடங்கை கிலோ மீடர் என்றும் கூறுவார்கள்.

மீடரை வரையறுத்தபோது, பூமியின் நடுவரைக்கும் வட துருவத்திற்கும் இடையே பாரிஸ் நகரின் வழியாகச் செல்லும் தூரத்தின் ஒருகோடியிலொருபங்கை ஒரு மீடராகக் கொள்வது என்று தீர்மானிக்கப்பட்டது. இந்த நீளத்தைக் காட்டுவதற்காகவே போர்டா (Borda) என்பவர் ஒரு பிளாடினம் சட்டத்தைச் செய்தார். பின்னர் திருத்தமாகக் கணக்கிட்டபோது இச்சட்டத்தின் நீளம் சரியானதல்ல என்று தெரிந்தும், அதை மாற்றுவதால் நேரிடக்கூடிய அசௌகரியங்களை உத்தேசித்து போர்டாவின் சட்டத்தினது நீளமே ஒரு மீடர் என்று வரையறுக்கப்பட்டது.

இப்படியே நிறையின் அலகாகிய கிலோகிராமை வரையறுத்தபோதும் அது 4° C சூட்டில் ஒரு கன டெஸிமீடர் தண்ணீரின் நிறையாகக் கொள்வதென்று தீர்மானிக்கப்பட்டது. இந்த நிறையைக் கொண்ட பிளாடினம் கட்டி யொன்றைச் செய்து வைப்பதாக போர்டா முற்பட்டார். பின்னர் இதிலும் சிறிது பிழை யிருப்பது தெரியவந்தது. ஆயினும் ஒரு கிலோகிராம் என்பது அப்பிளாடினம் கட்டியின் நிறையென்றே நிச்சயிக்கப்பட்டு விட்டது. பிரிட்டிஷ் திட்டத்தைப் போலவே இத் திட்டத்திலும் பொதுமைச் சௌர சேகண்டே கால அலகாகக் கொள்ளப்பட்டது. மெட்ரிக் முறையில் நீட்டலளவை, எடுத்தலளவை வாய்பாடுகள் வருமாறு.

| | |
|---|---|
| 10 மில்லிமீடர் | = 1 சென்டிமீடர். |
| 10 சென்டிமீடர் | = 1 டெஸிமீடர். |
| 10 டெஸிமீடர் | = 1 மீடர். |
| 10 மீடர் | = 1 டெக்காமீடர். |
| 10 டெக்காமீடர் | = 1 ஹெக்டாமீடர். |
| 10 ஹெக்டாமீடர் | = 1 கிலோமீடர். |
| 10 மில்லிகிராம் | = 1 சென்டிகிராம். |
| 10 சென்டி கிராம் | = 1 டெஸிகிராம். |
| 10 டெஸிகிராம் | = 1 கிராம். |
| 10 கிராம் | = 1 டெக்காகிராம் |
| 10 டெக்காகிராம் | = 1 ஹெக்டாகிராம். |
| 10 ஹெக்டாகிராம் | = 1 கிலோகிராம். |

பத்தினடுக்குகளாக இருப்பதால் பிரிட்டிஷ் திட்டத்தைவிட மெட்ரிக் திட்டத்தில் கணக்கிடுதல் மிக எளிது. இதனால் இம்முறை நாகரிக முன்னேற்றமுடைய நாடுகளில் பெரிதும் கையாளப்படுகிறது. மற்றும் விஞ்ஞானத்துறை முழுவதிலுமே மெட்ரிக் முறைதான் கையாளப்படும்.

கீழ்க்கண்ட உறவுகள் நினைவிலிருந்தால் ஒரு திட்டத்திலிருந்து மற்றொரு திட்டத்திற்கு இராசிகளை மாற்றுவது எளிதாக இருக்கும்.

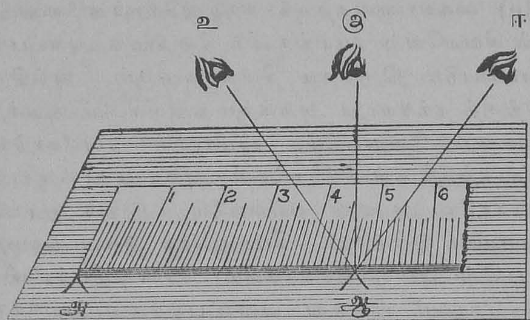
1 அடி = 30·48 செ. மீடர்.
1 பவுண்டு = 453·6 கிராம்.

முதல் அலகுகளும் வழி அலகுகளும் :—நீளம், காலம், நிறை என்னும் இராசிகளைப்பற்றிய கருத்துக்கள் மிக எளியவை. எனவே இவை மூல இராசிகள் அல்லது முதல் இராசிகள் எனப்படும். இவற்றை அளப்பதற்குரிய அலகுகளும் முதல் அலகுகள் எனப்படும். பலவேறு வகைப்பட்ட மற்ற பௌதிக இராசிகளை இவற்றின் வாயிலாக எடுத்துக்கூற முடியும். உதாரணமாக மெட்ரிக்திட்டத்தில் பரப்பிற்குரிய அலகு ஒரு செ. மீ. சிறையுள்ள (Side) ஒரு சதுரத்தின் பரப்பாகக் கொள்ளப்படும். இதை ஒரு சதுர சென்டிமீடர் என்று குறிப்பிடுவார்கள். இதே திட்டத்தில் பருமையின் (Volume) அலகை ஒரு சென்டிமீடர் சிறைகொண்ட ஒரு சேங்கட்டியின் (Cube) பருமையாகக்கொண்டு, அதை ஒரு கன சென்டிமீடர் என்பார்கள். வேகத்தின் அலகு, ஒரு செகண்டு நேரத்திலே ஒரு சென்டிமீடர் நகர்ந்து செல்லும் ஒரு துகளின் (Particle) வேகமாகும் என்று கொள்ளலாம். இதிலே நீள அலகும் கால அலகும் உட்பட்டிருக்கின்றன. இவ்வாறே எல்லா பௌதிக ராசிகளின் அலகுகளையும் மேற்கண்ட மூன்று அலகுகளின் வாயிலாகக் குறிப்பிடலாம். இம்மாதிரி முதல் அலகுகளின் வாயிலாகக் கூறப்படும் மற்ற அலகுகள் வழி அலகுகள் எனப்படும்.

மூலராசிகளை அளவிடுதல் :—நீட்டலளவை— பௌதிக வியலைக் கற்கப்புகும் மாணவன் முதலில் மிக எளிதாகக் கற்றுக்கொள்ளக்கூடியது நீட்டலளவையா

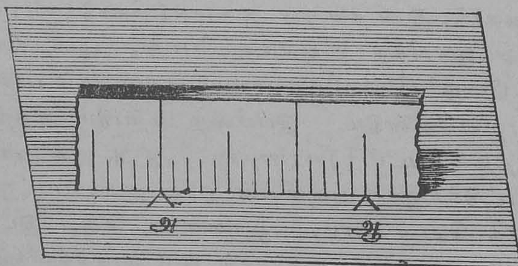
கும். திருத்தமாக விஞ்ஞான வேலையைத் துவக்குமுன் ஒருவன் நீளத்தை அளப்பதற்குரிய அளவியைக் (Scale) கையாளுவதற்குக் கற்றுக்கொள்ளவேண்டும். ஆனால் வெவ்வேறு சமயங்களில் நீளத்தை அளப்பதில் வேண்டப்படும் திருத்தம் வெவ்வேறாகும். அத்திருத்தத்திற்குத் தக்கவாறு அளக்கும் கருவிகளும் அளக்கும் முறைகளும் வேறுபடும். சாமானிய நேர்கோடுகளை அளப்பதற்குக் கள்ளிச் சட்டம் அல்லது எஃகுச் சட்டத்தாலாகிய அளவி பயன்படும். இதன் ஓரங்கள் நேர்மையாக இருக்கும். பொதுவாக இவை அங்குலங்கள், பதின்-அங்குலங்களாகவும், சென்டிமீடர், மில்லிமீடர்களாகவும் பிரித்து வகைப்படுத்தப்பட்டிருக்கும். இந்த அளவியால் ஒரு நேர்கோட்டை அளக்கவேண்டுமானால், அளவியினுடைய ஓரத்தை நேர்கோட்டோடு ஒட்டவைத்து அந்நேர்கோட்டு முனைகளின் வாசகத்தை அளவியில் காணவும். இவ்விரண்டு வாசகங்களின் இடைப்பட்ட தூரமே அந்நேர்கோட்டின் நீளமாகும். எப்போதும் நாம் அளக்கும் கோட்டின் முனை, அளவியின் ஒரு முனையோடு பொருந்தும்படி வைத்து அளக்கலாகாது. அளவியின் முனைகள் தேய்ந்திருக்கக்கூடுமாதலால், இது தவறான அளவைக் கொடுக்கும். இவ்வாறு அளவிகளால் அளக்கும்போது, 'புடைப்பெயர்ச்சிப் பிழை' (Parallax error) ஏற்படாமல் பார்த்துக் கொள்ளவேண்டும். இப்பிழை ஏற்படும் விதத்தைப் படத்தில் (படம் 1) காணலாம். அ ஆ என்னும் நேர்கோட்டுக்கருகில் அளவியின் ஓரம் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். ஒருவன் உ என்ற இடத்தில் கண்ணை வைத்து அளந்தால் ஒரு வாசகத்தையும், ஈ என்ற இடத்தில் கண்ணை வைத்து அளந்தால் மற்றொரு வாசகத்தையும் காண்பான். இவ்விரண்டு வாசகங்களும் பிழையாகும். இதுவே 'புடைப்பெயர்ச்சிப்

பிழை' எனப்படும். உண்மையான வாசகத்தைக் காண வேண்டுமானால் காண்போன் (Observer) இ என்ற




படம் 1

இடத்தில் கண்ணை வைத்துப் பார்க்கவேண்டும். இத் தொல்லையெல்லாம் கோட்டின் முனை ஆ வும், அளவியி லுள்ள பிரிவுகளும் பொருந்தாமையால் நேரிடுகின்றன. எனவே, அளவியிலே வகுக்கப்பட்ட ஓரத்தைக் கோட் டின்மீது படும்படியாக அளவியை வைத்து அளந்தால் (படம். 2.) இப்பிழை நீங்கிவிடும். இதற்காகவே சில




படம் 2

அளவிகளில் வகுக்கப் பட்டுள்ள ஓரங்கள் சரிவாகச் செதுக்கப்பட்டுள்ளன.

ஒரு நூலையும், ஒரு அளவியையும் கொண்டு வளைந்த கோடுகளை அளக்கலாம். நூலின் ஓர் நுனியைக் கோட்டின் ஒரு முனையோடு பொருந்த வைத்து, சிறிது தூரம் நூலைக் கோட்டின் மீது முற்றும் படிய வைத்து, பிறகு படிப்படியாய் நூலைத் தொடர்ந்து கோட்டின் மீதே படிய வைத்துக்கொண்டே போகவும். கோட்டின் மறு முனை வந்தவுடன், அதன் மேலே நூல் பொருந்திய இடத்திலே, நூலைக் கிள்ளிப் பிடித்துக் கொள்ளவும் அல்லது அந்த இடத்திலே மையினால் ஒரு சிறுபுள்ளியிட்டுக்கொள்ளவும். இப்போது நூலை எடுத்து ஒரு அளவியின் மீது நீட்டிவைத்து, நூலிலே முதலில் கோட்டின் முனையிலே வைத்த நுனிக்கும், மையினால் குறியிட்ட இடத்திற்கு முள்ள நீளத்தை அளக்கவும். இதுவே வளைவுக் கோட்டின் நீளமாகும்.

இதையே ஒரு கவராசத்தைக் (Pair of dividers) கொண்டும் அளவிடலாம். கவராசத்தின் கால்களைச் சிறிது விரித்துக் கொள்ளவும். (·5 செ. மீ. அல்லது ·2 அங். இருக்கலாம்.) இது எவ்வளவுக்குக் குறைவாக இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கு நலமாகும். ஒரு காலை கோட்டின் ஒரு முனையில் வைத்து மற்றொரு காலைக் கோட்டின் மீது ஊன்றவும். இப்போது, முதல் காலை எடுத்து இரண்டாவது காலுக்கு முன்னால், கோட்டின் மீது வைத்து ஊன்றவும். இவ்வாறு, படிப்படியாக நடப்பதுபோலவே எத்தனை தரம் அடியெடுத்து வைக்கப்பட்டதென்று எண்ணிக்கொண்டு, கோட்டின் மறு முனைக்கு வரவும். இந்த எண்ணைக் கால்களுக்கிடைப் பட்ட தூரத்தால் பெருக்க, கோட்டின் நீளம் கிடைக்கும். கடைசியில், கோட்டின் சிறிது பாகம் விடுபட்டுப் போவதுமுண்டு. இதை ஒரு நேர்கோடாகக் கொண்டு அளவியினால் அளந்து கூட்டிக் கொள்ளலாம். வட்டத்தைப் போன்ற ஒரு முடிவில்லா வளைவுக்

கோட்டை அளக்கவேண்டியிருந்தால், அதன் மீது ஓரிடத்தில் ஒரு குறியிட்டுக்கொண்டு, அப்புள்ளியிலிருந்து ஆரம்பித்து மறுபடியும் அப்புள்ளிக்கு வரும் வரை அளக்கவும்.

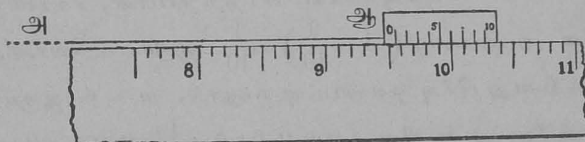
ஒரு சாமானிய அளவியினால் எடுக்கப்படும் அளவுகளின் திருத்தம் ஒரு எல்லைக்குட்பட்டது. ஏனென்றால், அளவியில் இடப்பட்டுள்ள வகைப் பாட்டு வரைகளுக்கு அகலம் உண்டு; மற்றும், நமது கண்ணினால் ஒரு பிரிவுக்குட்பட்ட பெரும் பிரிவுகளையே மதிப்பிட முடியும். இன்னும் திருத்தமான அளவுகள் வேண்டுமானால், வகைப் பாட்டு வரைகள் மிக மெல்லியனவாய் இருத்தல் வேண்டும். ஒரு பிரிவுக்குட்பட்ட பகுதிகளை அளப்பதற்குத் தனியான சாதனமொன்று வேண்டும். இதற்காக ஒரு சிறந்த சாதனத்தை வேர்னியர் (Vernier) என்பார் இயற்றினர். அது அவருடைய பெயரால் வழங்குகிறது.

வேர்னியரின் தத்துவம் :—இதில் சாமானியமாய் உள்ள அளவியுடன் ஒரு துணையளவி சேர்க்கப்பட்டிருக்கிறது. இத்துணையளவி, பிரதம அளவியின் ஓரத்தோடு நகர்ந்து செல்லும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கும். துணையளவியில் உள்ள பிரிவுகள் பிரதம அளவியின் பிரிவுகளை விடச் சற்று சிறியதாகவோ அல்லது பெரியதாகவோ இருக்கும். சிறியதாக இருந்தால் 'நேர் வேர்னியர்' எனவும் பெரியதாக இருப்பின் 'எதிர் வேர்னியர்' எனவும் பெயர் பெறும். இவ்விரண்டு வகை வெர்னியர்களையும் பற்றித் தனித்தனியாக இனி விசாரிப்போம்.

நேர் வேர்னியர் :—இதிலே முன்னே கூறியபடி பிரதம அளவியின் பிரிவுகளைவிட வெர்னியர் அளவியின் பிரிவுகள் சற்றுச் சிறியவை. பொதுவாக $(n-1)$

அளவிப் பிரிவுகளை எடுத்து, $n$ வெர்னியர் பிரிவுகளாக வகுத்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம். எனவே, ஒரு அளவிப் பிரிவுக்கும் ஒரு வெர்னியர் பிரிவுக்கும் உள்ள வேற்றுமை $\left(1-\frac{n-1}{n}\right)=\frac{1}{n}$ அளவிப் பிரிவாகும். இது வேர்னியரின் நுணுக்கம் (Least count) எனப் படும். இதைக்கொண்டு அளக்கும் முறையைச் சிறிது விளக்க முயலுவோம்.

படத்தைப் (படம் 3) பார்க்கவும். அ ஆ என்ற கோட்டின் நீளம் 9·4"-க்கும் 9·5"-க்கும் இடைப்பட்டிருக்கிறது. துணையளவியை நெருக்கிக்கொண்டுவந்து அதன் ஓர் முனை ஆ-வோடு ஒட்டியிருக்கும்படி வைக்கவும். ஆ-வுக்கு அருகிலே அளவியின் பிரிவுகளும்




படம் 3

வெர்னியர் பிரிவுகளும் ஒன்றோடொன்று பொருந்தியிராது. ஆனால் மேலே வலது புறமாகச் செல்ல, வெர்னியரிலே உள்ள $m$ என்ற பிரிவானது பிரதம அளவியின் பிரிவுகளில் ஒன்றோடு பொருந்தியிருப்பதைக் காணலாம். இப்போது அ ஆ என்ற கோட்டிலே 9·4 அங்குலத்திற்கு மேற்பட்டுள்ள அதிக நீளம் $b$ என்று கொள்வோம். எனவே இந்த $b$ என்ற நீளமும் வெர்னியரிலே $m$ பிரிவுகளும் சேர்ந்து பிரதம அளவியிலே $m$ பிரிவுகளுக்குச் சமமாகும். இதை

$$b+m\left(\frac{n-1}{n}\right)=m \text{ என்று கூறலாம்.}$$

$\therefore\ b = m - \frac{m(n-1)}{n}$ ஆகும்.

அல்லது $b = m\left\{1 - \frac{n-1}{n}\right\}$

அல்லது $b = m\,\frac{1}{n}$ ஆகும்.

இதிலே $\frac{1}{n}$ என்பது வெர்னியரின் நுணுக்கம்.

ஆகையால் அ ஆ என்ற கோட்டின் நீளம் $= 9{\cdot}4 +$ ஒன்றுபடும் வெர்னியர் பிரிவு $\times$ வெர்னியரின் நுணுக்கம் ஆகும்.

வெர்னியரிலே 9 பிரதம அளவியின் பிரிவுகளை 10 வெர்னியர் பிரிவுகளாகப் பிரித்திருப்பின், வெர்னியரின் நுணுக்கம், $\left(1 - \frac{9}{10}\right) = \frac{1}{10}$ ஆகும். வெர்னியரில் 6-வது பிரிவு ஒன்றுபட்டிருந்தால், $m = 6$ ஆகும். எனவே, அ ஆ-வின் நீளம் $9{\cdot}4 + 6 \times \frac{1}{10} = 9{\cdot}46''$ ஆகும். மேலே கண்ட விவரங்களிலிருந்து, வெர்னியர்களைத் தக்கபடி அமைத்தால் ஒரு அளவிப் பிரிவின் எந்தப் பகுதியையும் நமக்கு வேண்டிய நுணுக்கத்தோடு அளக்கலாம் என்று தெரிகிறது.

உதாரணமாக நாம் ஒரு அங்குலத்தின் 128-ல் ஒரு பகுதியை நுணுக்கமாகக் கொண்டுள்ள வெர்னியரை அமைக்கவேண்டியிருக்கிறதென்று கொள்வோம். இதற்கு $\frac{1''}{16}$ப் பிரிவுகளைக் கொண்ட ஒரு பிரதம அளவியை எடுத்துக்கொள்ளவும். இதில் 7 பிரிவுகளை எடுத்து, அவற்றை 8 சம பாகங்களாக வகுத்து, அதை வெர்னியர் அளவியாகக்கொள்ளவும்.

இதில் ஒரு பிரதம அளவியின் பிரிவு =

$$\frac{1}{16} = \frac{8}{128}'' \text{ ஆகும்.}$$

ஒரு வெர்னியர் அளவியின் பிரிவு =

$$\frac{7}{16} \times \frac{1}{8} = \frac{7}{128}'' \text{ ஆகும்.}$$

ஆகையால், இந்த வெர்னியரால் கிடைக்கக்கூடிய நுணுக்கம் = (ஒரு பிரதம அளவியின் பிரிவு — ஒரு வெர்னியர் அளவியின் பிரிவு) =

$$\frac{8}{128} - \frac{7}{128} = \frac{1}{128}'' \text{ ஆகும்.}$$

நம்மிடம் $\frac{1}{2}$ மி. மீ. நுணுக்கமாகக்கொண்ட ஒரு அளவி இருப்பதாகவும், அதைக்கொண்டு ·002 செ. மீ. நுணுக்கங்கொண்ட வெர்னியர் ஒன்று அமைக்கவேண்டுமென்றும் கொள்வோம். மில்லிமீடர் அளவிலே நாம் வேண்டிய நுணுக்கம் ·02 ஆகும். நம்மிடமுள்ள $\frac{1}{2}$ மி. மீடர் அளவியிலே நாம் வேண்டிய நுணுக்கம் $·02 \times 2 = ·04$ ஆகும். எனவே நாம் வேண்டும் நுணுக்கம் ·04 அல்லது $\frac{1}{25}$ பி. அ. பிரிவு ஆகும்.

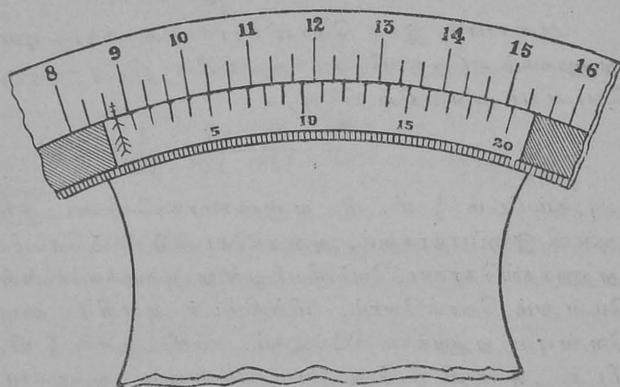
(1 பிரதம அளவிப் பிரிவு — 1 வெர்னியர் அளவிப் பிரிவு) = நுணுக்கம் = $\frac{1}{25}$ பி. அ. பி.

∴ ஒரு வெர்னியர் அளவிப் பிரிவு = 1 பி. அ. பி. $-\frac{1}{25}$ பி. அ. பி. = $\left(\frac{24}{25}\right)$ பி. அ. பி.

ஆகையால், 24 பிரதம அளவிப் பிரிவுகளை எடுத்து அவற்றை 25 சம பாகங்களாக வகுத்து, வெர்னியர் அளவியை அமைத்துக்கொள்க.

நீட்டலளவையில் நாம் வெர்னியரை உபயோகித்ததுபோலவே, பாகை மானியிலே 1°-க்குக் குறைந்த

பின்னங்களை அளக்கவும் வெர்னியர்களை உபயோகிக்க லாம். படத்தைப் பார்க்கவும் (படம் 4). இதிலே உள்ள வட்ட அளவியில் ஒரு பாகையை மூன்று சம பாகங்களாகப் பிரித்திருக்கிறது. வெர்னியர் அளவி யிலே 20 சமபாகங்கள் இருக்கின்றன. பிரதம அளவி

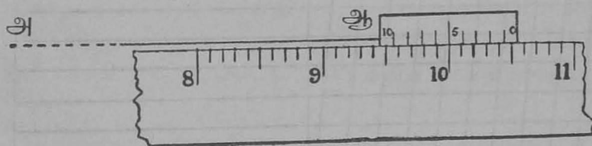



படம் 4

யிலே 19 பிரிவுகளை எடுத்து, அவற்றை வெர்னியர் அளவியிலே 20 சமபாகங்களாகப் பிரித்திருக்கிறது. எனவே, இதன் நுணுக்கம் ஒரு பிரதமப் பிரிவின் இரு பதில் ஒரு பங்காகும். ஒவ்வொரு பிரதமப் பிரிவும் ஒரு பாகையின் மூன்றிலொரு பாகம் அல்லது 20 கலைகள் (Minutes) கொண்டதாகையால் இக்கருவியின் நுணுக் கம் 1 கலை ஆகும். படத்திலே வெர்னியரின் தலைக் கோடு 8°-க்கும் 9°-க்கும் இடையே 2-வது பிரிவைக் கடந்து நிற்கிறது. எனவே அளக்கவேண்டிய கோணத் தின் அளவு 8°—40′-க்கு மேலே சிறிது அதிகம். இப் போது பொருத்தம் எங்கே ஏற்படுகிறது என்று பார்ப்போம். வெர்னியரின் நான்காவது பிரிவு ஒரு பிரதமப் பிரிவோடு ஒன்றுபடுகிறது. எனவே நாம்

அளக்கவேண்டிய சிறுபகுதியின் அளவு $=4\times 1$ கலை $=4$ கலைகளாகும். இதை முன்கண்ட அளவோடு கூட்ட, கோணத்தின் அளவு $8^{\circ}-44'$ ஆகும். இவ்வாறே நமக்கு வேண்டிய நுணுக்கத்தைத் தரக்கூடிய வெர்னியர்களை நாம் அமைத்தல் கூடும்.

எதிர் வேர்னியர் :—இதிலே $(n+1)$ பிரதமப் பிரிவுகளை எடுத்து $n$ சமபாகங்களாக வகுக்கப்பட்டிருக்கும். இவ்வாறு எண்ணிடுவதில் ஒரு வேற்றுமை உண்டு. முன்கூறிய வெர்னியரிலே வெர்னியர் அளவியில் எண்ணிக்கைகள் இடமிருந்து வலமாக வரிசையாய்ப் போடப்பட்டிருந்தன. ஆனால் இந்த வெர்னியரிலோ, எண்ணிக்கைகள் வலமிருந்து இடமாகப் போடப்பட்டிருக்கின்றன. இதிலே அளக்கவேண்டிய முறையைச் சிறிது விசாரிப்போம். அ ஆ என்னும் கோட்டை அளக்கும்போது ஆ என்னும் முனை 9·4"-க்கும் 9·5"-க்கும் இடையில் நிற்கிறது என்றும், வெர்னியரில் $m$ என்னும் பிரிவில் பொருத்தமேற்படுவதாகவும் கொள்வோம். பிரதம அளவியால் அளக்க முடியாது விடப்பட்ட சிறிய பகுதியின் நீளம் $b$ ஆனால் (படம் 5) படத்தில் கண்டபடி




படம் 5

$b+(n-m)$ (வெ.பி.) $=(n-m+1)$ அ. பி. ஆகும்.

ஆகையால் இதையே $b+(n-m)$ (வெ. பி.) $=$ $(n-m)$ அ. பி. $+1$ அ. பி. என்றும் எழுதலாம்.

$b=(n-m)$ அ.பி.$-(n-m)$ வெ. பி.$+1$ அ.பி. ஆகும்.

$=-(n-m)$(வெ.பி.$-$அ.பி.)$+1$ அ.பி. ...... (1)

ஆனால் ஒரு வெ.பி. $=\frac{n+1}{n}$ அ.பி.

ஆகையால் (வெ. பி.—அ.பி.) = $\left\{\frac{n+1}{n}-1\right\}$ அ.பி.

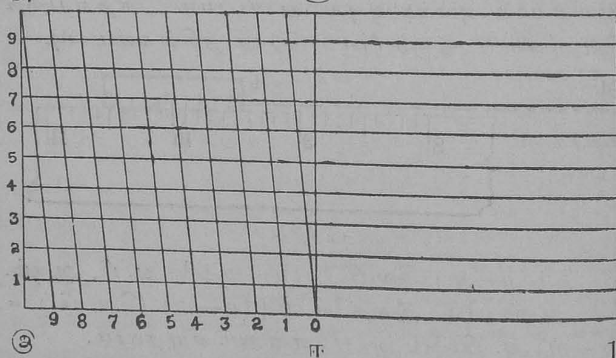
இதை மேலே கண்ட (1) என்ற சமீகரணத்தில் இட்டால்

$b = -(n-m)\left\{\frac{n+1}{n}-1\right\}$ அ.பி. $+1$ அ.பி. ஆகும்,

$= \left\{-\frac{n-m}{n}+1\right\}$ அ.பி.

$= \frac{m}{n}$ அ.பி. $= m \times$ வெர்னியரின் நுணுக்கம் ஆகும்.

எனவே, எதிர் வெர்னியரால் அளக்கும்போது முதலிலே பிரதம அளவியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு பொருத்தம் ஏற்படும் வெர்னியர் வாசகமாகிய $m$-ஐக் கண்டு, அதை வெர்னியரின் நுணுக்கத்தால் பெருக்கவும். பெருக்கி வந்த தொகையைப் பிரதம அளவியின் வாசகத்தோடு கூட்டிக்கொண்டால், சரியான நீளம் கிடைத்துவிடும்.




படம் 6

மூலைவரை அளவி (Diagonal Scale):—இது அங்குலம் அல்லது சென்டிமீடரின் சிறு பகுதிகளை அளவிடு

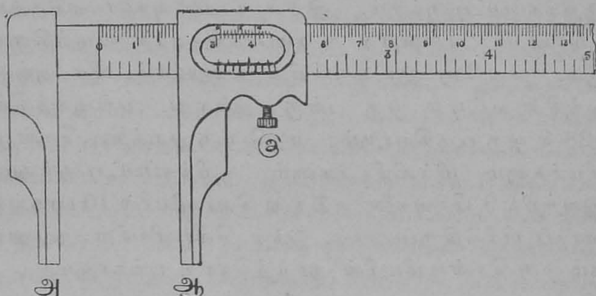
வதற்கு உதவுகிறது. படத்தைப் (படம் 6) பார்க்கவும். பதினொரு இணைநேர் கோடுகள் அளவியின் நெடுக வரையப்பட்டிருக்கின்றன. இவை அளவியின் அகலத்தைப் பத்து சம பகுதிகளாய்ப் பிரிக்கின்றன. இவற்றின் குறுக்கே ஒரு அங்குல இடைவெளியிட்ட கோடுகள் வரையப்பட்டுள்ளன. இவை 0, 1, 2, 3 .......... என்று எண்ணிடப்பட்டுள்ளன. இதன் சூனியப் பிரிவு ஈ என்ற புள்ளியிலே இருக்கிறது. அ ஆ ஈ இ என்ற கட்டத்தின் சிறைகள்மேலுங் கீழும் பத்து சம பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஈ-க்கு இடது புறமாக உள்ள பிரிவுகள் முறையே 1, 2, 3, 4, 5, 6 என எண்ணிடப்பட்டுள்ளன. இக்கட்டத்தினுள்ளே சரிவான இணைவரைகள் வரையப்பட்டுள்ளன. அ என்ற புள்ளி, அடிக்கோட்டிலுள்ள 9-வது பிரிவுப் புள்ளியோடு சேர்க்கப்பட்டுள்ளது. மற்ற வரைகளும் இதே சரிவிலே, இதற்கு இணையாக வரையப்பட்டுள்ளன. இந்தச் சாய்வு கோடுகளைக்கொண்டு அங்குலத்தின் நூறிலொரு பங்குவரை அளவிடுவது சாத்தியமாகிறது. இது எவ்வாறு என்பதை இனிக்காண்போம். உதாரணமாக 1 என்று குறிப்பிட்டிருக்கும் கிமிர் வரைக்கும் 4 என்று குறிப்பிட்டிருக்கும் சாய்வு வரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை எடுத்துக்கொள்வோம்.

அடிவரையின்மீது இந்த தூரம் 1·4 அங். ஆகும். தலைவரையின்மீதோ இந்த தூரம் 1·5 அங். ஆகும். எனவே இடையிலுள்ள 6-வது படுகை வரையின்மீது இந்த தூரம் 1·46 அங். ஆகுமென்பது தெளிவு. அடிவரையிலிருந்து ஒவ்வொரு படுகை வரையாக மேலேறிச் செல்லச் செல்ல, இந்த தூரம் ஒவ்வொரு படிக்கும் ·01 அங். அதிகரிக்கிறது. எனவே இந்த அளவியின் நுணுக்கம் ·01 அங். ஆகும்.

இதைக்கொண்டு இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடைப் பட்ட தூரத்தை அளவிடும் முறை வருமாறு : அந்தப் புள்ளிகளின்மீது ஏககாலத்தில் படும்படி ஒரு கவராசத்தின் கால்களை விரித்து, அந்த நீளத்தைக் கவராசத்திலே ஏற்றுக்கொள்ளவும். அதன் முன்னங்காலின் முள்ளை இ ஈ-க்கு இடையே நிற்கவைத்து, மற்றொரு காலைத் தக்கதொரு நிமிர் வரையின்மீது நிறுத்தவும். உதாரணமாக இது 4-வது வரை என்று கொள்வோம். பின்னங்காலை இந்த நிமிர் வரை அடிப்படுகை வரையில் வெட்டுமிடத்தில் நிறுத்தி, முன்னங்காலின் முள் அடிவரையிலே இ ஈ-க்கு இடையே எங்கே படுகிறது என்று பார்க்கவும். இது 6, 7 என்ற பிரிவுகளின் இடையிலே இருப்பதாகக்கொள்வோம். இப்போது கவராசத்தை அப்படியே மேலே நகர்த்திக்கொண்டு போகவும். பின்னங்காலின் முள் 4-வது நிமிர் வரையின்மீதே மேனோக்கி நழுவிச் செல்லவேண்டும். இவ்வாறு நழுவிச் செல்லும்போது, முன்னங்காலின் முள் முனை ஏதேனுமொரு படுகை வரையும் சாய்வு வரையும் சந்திக்கும் இடத்தின் வழியாகச் செல்லும். அங்கே கவராசத்தை நிறுத்தி, அங்கே வரும் படுகை வரை எண் யாதென்று கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இது 4-வது படுகை வரை என்று கொண்டால், கவராசத்தின் முள் முனைகளிடைத் தூரம் 4·64 அங். ஆகும். எனவே நாம் எடுத்துக்கொண்ட புள்ளிகளினிடைத் தூரம் 4·64 அங். ஆகும்.

வேர்னியர் காலிபர் :—(படம் 7) படத்தில் காண்பது ஒரு சாமானிய வேர்னியர் காலிபர் ஆகும். அதில் ஒரு மெல்லிய எஃகுச் சட்டத்தின் நுனியில் அ என்ற அசையாத முகவாய் இருக்கிறது. ஆ என்னும் அசையும் முகவாயின் அடியில் ஒரு வேர்னியர் இருக்கிறது. இவ்வேர்னியர் எஃகுச் சட்டத்தின் ஓரத்தில் வெட்டப்

பட்டுள்ள அளவியின் விளிம்பில் நகர்ந்து செல்லக்கூடியது. அசையும் முகவாயை, அளவியின்மீது எந்த இடத்தில் வேண்டுமாயினும், இ என்னும் திருகைக் கொண்டு பிணித்துவிடலாம். இக்கருவியின் வாய் மூற்



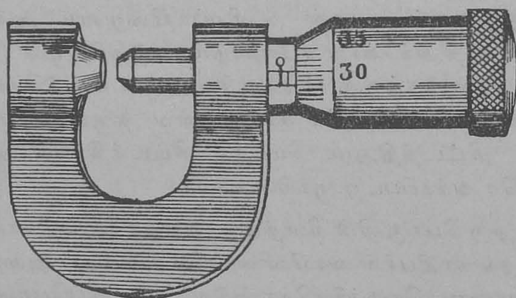

படம் 7

றும் மூடியிருக்கும்போது, பிரதம அளவியின் சூனியப் பிரிவும் வெர்னியர் அளவியின் சூனியப் பிரிவும் ஒன்று பட்டிருக்கவேண்டும். இவ்வாறு இல்லாவிட்டால் இக் கருவியில் சூனியப் பிழை (Zero error) இருப்பதாகக் கூறப்படும். இம்மாதிரியான கருவியை உபயோகிப்பதற்குமுன்னால், அதன் சூனியப் பிழையை அளந்து நிர்மானித்துக்கொள்ளவேண்டும். இதற்குமுன் அவற்றின் நுணுக்கத்தை (Least count) க் கண்டுகொள்ள வேண்டும். படத்தில் காட்டியுள்ள கருவியில் பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலும் மெட்ரிக் திட்டத்திலும் அளவிகள் செதுக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

ஒரு பொருளின் நீளத்தை அளக்கவேண்டுமானால், அதைக் காலிபரின் வாயினிடையில் வைத்து, அசையும் முகவாயை நெருக்கிக்கொண்டுவந்து, அப்பொருளைக் கவ்விப் பிடிக்குமாறு வைத்துத் திருகினால் பிணித்துவிடவும். இப்போது வெர்னியரின் உதவியால் அதன் நீளத்தை எளிதில் நுணுக்கமாக அளந்துவிடலாம்.

இந்த வாசகத்தோடு சூனியத் திருத்தத்தைக்கூட்ட, நாம் எடுத்துக்கொண்ட பொருளின் உண்மையான அளவு கிடைக்கும். பொதுவாக இக்காலிபர்களிலே ஒரு ஓரத்தில் அங்குலங்களும் வீச அங்குலங்களும் குறிக்கப்பட்டிருக்கும். இதில் 7 பிரிவுகளை எடுத்து, வெர்னியர் அளவியில் 8 சமபாகங்களாக வகுத்திருக்கும். எனவே, இக் கருவியின் நுணுக்கம், வீச அங்குலத்தில் எட்டில் ஒரு பங்கு அல்லது அங்குலத்தில் 128-ல் ஒரு பகுதியாகும். மற்றொரு ஓரத்தில், சென்டிமீடர்களும் மில்லிமீடர்களும் குறிக்கப்பட்டிருக்கும். இவற்றில் 9 பிரிவுகளை எடுத்து வெர்னியரில் 10 பாகங்களாகப் பிரித்திருப்பதால், இந்த வெர்னியரின் நுணுக்கம் ஒரு சென்டிமீடரின் நூற்றிலொரு பங்காகும்.

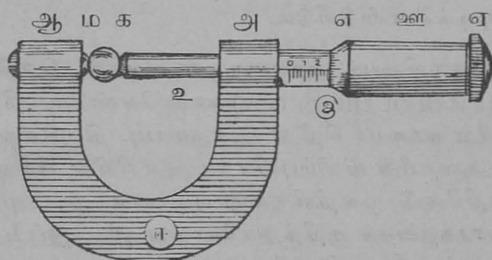
குறிப்பு :— சூனியப் பிழை என்பது, காலிபரின் வாய் முற்றிலும் மூடியிருக்கும்போது வெர்னியரின் வாசகத்திலிருந்து 0-வைக் கழிக்க வருவதாகும். இந்த ராசியின் குறியை மாற்றினால், (அதாவது 0-வில் இருந்து வெர்னியர் வாசகத்தைக் கழித்தால் வருவது சூனியத் திருத்தமாகும்.) நாம் கண்ட வாசகத்தோடு சூனியத் திருத்தத்தைக் கூட்டினால், உண்மையான வாசகம் கிடைக்கும்.




படம் 8 (1)

திருகுமானி (Screw Gauge) :—(படம் 8 (1)) மில்லிமீடரில் நூற்றிலொரு பகுதி வரை நுணுக்கமாக

அளப்பதற்கு இக்கருவி பயன்படும். மெல்லிய கம்பிகளின் விட்டத்தையும், மெல்லிய தகடுகளின் கனத்தையும் அளப்பதற்கு இது பெரிதும் கையாளப்படும். இது திருகு தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது. ஒரு திருகை எடுத்து அதில் அடுத்தடுத்துள்ள வரம்புகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தை அளந்தால் அது ஒன்றாகவே இருக்கும். இவ்வாறு அடுத்தடுத்துள்ள வரம்புகளுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தைத் திருகின் 'இடை' (Pitch) என்று சொல்லுவது வழக்கம். செம்மையாக வெட்டப்பட்ட ஒரு திருகு தக்க மரையிலே சுழன்றால், ஒவ்வொரு சுற்றுச் சுற்றும்போதும் திருகு ஒரு 'இடை'யின் தூரம் நகருவதைக் காணலாம். எனவே ஒரு முழுச் சுற்றுக்குப் பதிலாக ஒரு சுற்றில் நூற்றில் ஒரு பகுதி சுழன்றால், அது தனது இடையின் நூற்றிலொரு பகுதி தூரம் நகருமென்று தெளிவாக விளங்கும். இதனால் நமக்கு வேண்டிய நுணுக்கமான அளவுக்குத் திருகின் முனையை நாம் மிக எளிதாக நகர்த்தலாம்.




படம் 8 (2)

படத்தைப் பார்க்கவும். *(படம் 8 (2))* ஈ என்னும் ஒரு அசையாத சட்டகத்தின் ஒரு கொம்பின் நுனியில், இ என்னும் உட்டுளை கொண்ட உருளை (Hollow cylinder) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இ-யின் உட்புறத்தில் ஒரு மரை செதுக்கப்பட்டிருக்கிறது. உ என்னும் அச்சு, இம்மரையினுள்ளே சுழலும் ஒரு திருகின் முன்பாகமாகும். இதன் மற்றொரு நுனியாகிய ஏ என்னுமிடத்தில் ஊ என்னும் உறை இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வுறையின் மற்றொரு முனையாகிய எ என்னுமிடத்தில், இதன் வாயைச்சுற்றி, வெளிப்புறத்தில் 100 சம பிரிவுகள் கொண்ட ஒரு அளவி செதுக்கப்பட்டுள்ளது. அச்சினது உள் முனையாகிய க, செம்மையான ஒரு தளம். இதைப்போன்றே சட்டகத்தின் மற்றொரு முனையிலே இணைக்கப்பட்டுள்ள அசையாத திருகின் முனையாகிய ம-வும், ஒரு செம்மைத் தளமாகும். முன்னால் கூறிய இ என்னும் உருளையின் நெடுக, ஒரு அடிவரை (base line) வரையப்பட்டு, அதன்மீது ஒரு அளவி செதுக்கப்பட்டுள்ளது. உறையின் விளிம்பு பிரதம அளவியின் 0 பிரிவோடு ஒன்றிநிற்க, உறையின்மீதுள்ள துணையளவியின் சூனியப் பிரிவு அடிவரையின்மீது ஒன்றி நின்றால், ம, க, என்னும் தளங்கள் ஒன்றுபட்டுத் திருகுமானியின் வாய் முற்றிலும் மூடிக்கொண்டுவிடும்.

இக்கருவியைக் கையாளுமுன் அதன் திருகிடையைக் (Pitch of the Screw) காணவேண்டும். திருகுமானியின் வாயைச் சிறிது அகலும்படி திருகிவைத்து அதன் உறையின் விளிம்பு பிரதம அளவியின் பிரிவுகளிலொன்றினோடு ஒன்றியிருக்கும்படி வைத்து, அப்பிரிவின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது உறையைச் சரியாகப் பத்து சுற்று சுற்றவும். மறுபடியும் உறைவிளிம்பின் வாசகத்தைக் குறித்துக் கொள்ளவும். இவ்விரண்டு வாசகங்களின் வேற்றுமையைப் பத்தால் வகுக்க வருவதே இக்கருவியின் திருகிடையாகும். சாமானியமாய்த் திருகுமானிகளின் இத் திருகிடை ஒரு மில்லிமீடர் இருக்கும். இவ்வி

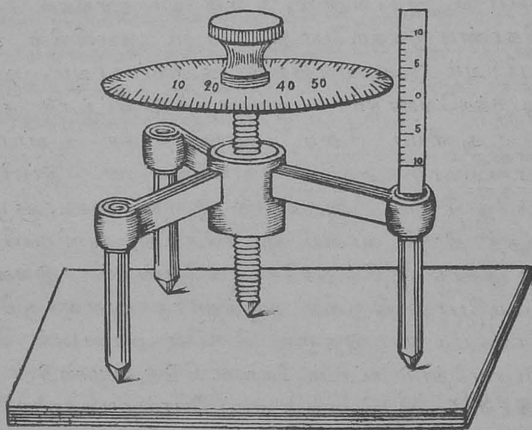
தக் கருவிகளில் உறையின் விளிம்பு 100 சமபாகங்களாக வகுக்கப்பட்டிருக்கும். ஆகையால் உறையை அவ்விளிம்பிலுள்ள அளவியில் ஒரு பிரிவு தூரம் சுற்றினல், அச்சின் முனை ஒரு மில்லிமீடரில் நூற்றிலொரு பங்கு தூரம், அதாவது ·01 மில்லிமீடர் தூரம் முன்னேறும். எனவே இக்கருவியின் நுணுக்கம் ·001 செ. மீ. ஆகும். இன்னெரு விதமான திருகுமானிகளில் 'திருகிடை' $\frac{1}{2}$ மி. மீ. இருக்கும். இதன் உறை விளிம்பு 50 சம பாகங்களாக வகுக்கப்பட்டிருக்கும். ஆகையால் உறையை ஒரு உறையளவியின் பிரிவுதூரம் சுற்றினல் அச்சு $\frac{1}{2}/50$ = ·01 மி. மீ. தூரம் முன்னேறும். எனவே இக்கருவிகளின் நுணுக்கமும் ·001 செ. மீடரேயாகும்.

மற்றும் திருகுமானியின் வாய் நன்ருக மூடியிருக்கும்போது, அதாவது ம, க என்னும் தளங்கள் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும்போது, பிரதம அளவியின் சூனியப் பிரிவும் உறையளவியின் சூனியப்பிரிவும், ஒன்றுபட்டிருக்கவேண்டும். அவ்வாறில்லாவிட்டால் கருவியில் 'சூனியப் பிழை' இருப்பதாகக் கூறப்படும். சாமானியமாய் எல்லாக் கருவிகளிலும் இப்பிழை இருந்தே தீரும். ஆகையால் இதைக் கையாளுமுன், அதைத் திருகி வாயை மூடச்செய்து, சூனியப்பிழையைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். இவ்வாறு செய்யும்போது திருகை அழுத்தமாக அளவுக்குமீறித் திருகக்கூடாது. இதனல் திருகின் வரம்புகள் கெட்டுப்போவதோடு சட்டம் கோணிவிடுதலுமுண்டு. சில கருவிகளிலே இத்தொல்லையைப் போக்குவதற்காக ஒரு 'நழுவும் திருகு' அமைத்திருப்பதும் உண்டு. இதில் திருகுமானியின் வாய் வேண்டிய அளவுக்கு மூடியவுடன் நாம் இன்னும் அதிகமாகத் திருகினல், திருகினது தலைமட்டும் நழுவிச் சுழலுமேயன்றி, திருகு

சுழன்று முன்னேறுவதில்லை. இவ்வாறு அழுத்தித் திருகுவதனால் ஏற்படக்கூடிய குறைபாடுகள் நீக்கப்படுகின்றன.

திருகுமானியின் நுணுக்கத்தையும் அதன் சூனியப் பிழையையும் கண்டபிறகு, அதன் வாயைத் திறக்கச்செய்து, அதனிடையே நாம் அளக்கவேண்டிய பொருளை இட்டுத் திருகி, அதன் வாயினால் அப்பொருளை இலேசாகக் கௌவச்செய்யவும். இப்போது திருகுமானியின் வாசகத்தைக் கண்டு, அதனோடு சூனியத் திருத்தத்தைக் கூட்ட நாம் எடுத்துக்கொண்ட பொருளின் அளவு கிடைக்கும். இப்பரிசோதனையைப் பலமுறை செய்து பொதுமையளவைக் காணவும்.

கோளமானி (Spherometer);—இதுவும் அமைப்புத் தத்துவத்தில் திருகுமானியைப்போன்றதே




படம் 9

யாகும். இதில் உலோகத்தாலான ஒரு சிறு முக்காலி இருக்கிறது. (படம் 9.) இதன் மூன்று கால்களும்

ஒரே நீளம் கொண்டவை. இக்கால்களின் முனைகள் ஒரு சம முக்கோணத்தின் (equilateral triangle) மூன்று மூலைகளில் பொருந்தக் கூடியவை. இவற்றின் நடுவிலுள்ள ஒரு சன்னமான மரையின் வழியாக ஒரு திருகு-கால் செல்லுகிறது. இதன் கீழ்முனையும், மற்ற கால்களின் முனைகளும் கூர்மையானவை. இத்திருகின் மேல்புறத்தில் ஒரு வட்டமான தட்டு இருக்கிறது. இத்தட்டின் விளிம்பு 100 சமபாகங்களாகவகுக்கப்பட்டிருக்கிறது. மில்லிமீடர்களாக வகுக்கப்பட்ட ஒரு சிறு அளவி, இம்மூன்று கால்களில் ஒன்றோடு செங்குத்தாய் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது மேலே உள்ள தட்டின் விளிம்போடு ஒட்டி நிற்கிறது.

இந்தக் கருவியைக் கையாளுமுன் இதன் திருகிடையைக் காணவேண்டும். இது 1 மி.மீ. அல்லது $\frac{1}{2}$ மி. மீடராக இருக்கும். தட்டினது விளிம்பின் வாசகத்தைப் பிரதம அளவியில் குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு அத்தட்டை முழுச் சுற்றுகளாகப் பத்து சுற்றுகள் சுற்றவும். மறுபடியும் விளிம்பின் வாசகத்தைப் பிரதம அளவியில் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இவ்விரண்டு வாசகங்களின் வேற்றுமையைப் பத்தால் வகுக்க வருவதே இக்கருவியின் ‘ திருகிடை ’ யாகும். திருகிடை $\frac{1}{2}$ மி. மீடராக இருக்க, விளிம்பு அளவி 100 சம பாகங்களாக வகுக்கப்பட்டிருந்தால், இக்கருவியின் நுணுக்கம் $\frac{1}{2}/100 = \cdot 005$ மி. மீடராகும்.

பொதுவாக விளிம்பு அளவியின் சூனியப் பிரிவு பிரதம அளவியின் சூனியப் பிரிவோடு ஒன்றியிருக்கும்போது, இக்கருவியின் மூன்று கால்களின் முனைகளும் நடுவிலுள்ள திருகின் முனையும் ஒரே தளத்திலிருக்கவேண்டும். ஆனால் இது எப்போதும்

சரியாய் இருப்பதில்லை. ஆகையால் இக்கருவியைக் கையாளுமுன் சூனியப் பிழையைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். இதற்குத் திருகின் முனையை நன்றாக மேலே தூக்கிவிட்டு, இக்கருவியை ஒரு கண்ணாடித் தட்டுப்போன்ற ஒரு சமதளமான பொருளின்மீது வைக்கவும். இப்போது மெதுவாகத் திருகைக் கீழே இறக்கி, அதன் முனை தட்டைத் தொடும்படிச் செய்யவும். இதைச் செய்வது எப்படியெனில் நாம் திருகைப் படிப்படியாகக் கீழே இறக்கிக்கொண்டு வருகையில் ஒரு சமயத்தில் இக்கருவியே திருகைச் சுற்றிச் சுழலும். இப்போது நிறுத்தி, திருகைச் சிறிது மேலே தூக்கிக் கொள்ளவும். தட்டின் தலைமீது விரலின் நுனியை வைத்து அழுத்தினால் கோளமானி நொடிக்காமல் நிற்க வேண்டும். நொடிக்குமானால், திருகு அதிகமாக நீண்டு விட்டதென்று அறியலாகும். ஆகையால் பின்னும் சிறிது மேலே தூக்கவேண்டும். இவ்வாறே கோளமானி நொடிக்காமல் நான்கு முனைகளின்மீதும் நிற்கும்படி செய்யவேண்டும். இப்போது வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொண்டு, அதை 0-விலிருந்து கழித்தால் கிடைப்பதே சூனியத் திருத்தமாகும். நாம் காணும் வாசகங்களோடு இதைக் கூட்டிக்கொண்டால் உண்மையான வாசகங்கள் கிடைக்கும்.

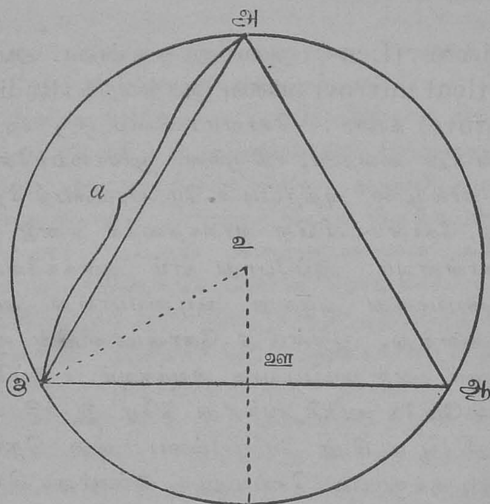
ஒரு சிறு கண்ணாடிச் சில்லினது கனத்தைக் காண :—ஒரு சமதளமான கண்ணாடித் தட்டின்மீது கோளமானியை வைத்துத் திருகின் முனையைக் கீழேயுள்ள தட்டைத் தொடச்செய்து, அதன் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு, திருகை மேலே நன்றாகத் தூக்கி, நாம் அளக்கவேண்டிய பொருளை மூன்று கால்களினிடையே வைத்துத் திருகை மெதுவாகக் கீழே இறக்கவும். திருகின் முனை பொருளின்மேற்புறத்தைத் தொட்டவுடன் நிறுத்திவிட்டு, மறுபடியும்

அதன் வாசகத்தைக் காணவும். இவ்விரண்டு வாசகங்களுக்குமுள்ள வேற்றுமையே நாம் அளக்கவேண்டிய பொருளின் கனமாகும். இதைப் பலமுறை செய்து பொதுமை காணவும்.

வில்லை (Lens) அல்லது உருண்டை ஆடியின் (Spherical mirror) வளைவு ஆரத்தைக் (Radius of curvature) காண :—கோளமானியை ஒரு சமதளத் தட்டின்மீது வைத்து, திருகின் முனையைக்கொண்டு திருகு-கால்முனை அத்தட்டின் மேற்பரப்பைத் தொடச் செய்து, கோளமானியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது நாம் அளக்கவேண்டிய வில்லையையாவது அல்லது ஆடியையாவது தட்டின் மேல் வைத்து, அதன்மீது கோளமானியின் மூன்று கால்களும் ஊன்றும்படியாக வைக்கவும். இப்போது திருகை மேலே தூக்கி அல்லது கீழே இறக்கி வில்லை அல்லது ஆடியின் மேற்பரப்பை அது தொட்டுக் கொண்டிருக்கும்படி செய்யவும். இவ்வாறு செய்யும் போது கோளமானியின் மூன்று கால்களும் அதே பரப்பின்மீது ஊன்றிநிற்கவேண்டுவது அவசியம். இப்போது மறுபடியும் கோளமானியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இவ்விரண்டு வாசகங்களுக்குமுள்ள வேற்றுமையாகிய $h$-ஐக் காணவும். இவ்வாறு பலமுறை செய்து $h$-ன் பொதுமை மதிப்பைக் காணவும். மற்றும், கோளமானியின் இரண்டு கால்களுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தையும் ஒரு மீடர் அளவியால் அளந்துகொள்ளவும். இதையும் அம்முக்கோணத்தின் மூன்று புறங்களிலும் அளந்து பொதுமை மதிப்பாகிய $a$-ஐக் காணவும். நாம் எடுத்துக் கொண்ட பரப்பின் வளைவு-ஆரத்தை

$R = \frac{a^2}{6h} + \frac{h}{2}$ என்னும் வாய்பாட்டினால் கணக்கிட்டு அறியலாகும்.

மேலேகண்ட வாய்பாட்டின் நிரூபணம் (Proof).




படம் 10 (1)

மேற்கண்ட படத்தில் (படம் 1 (1)) அ, ஆ, இ என்பன கோளமானியின் கால்களினது முனைகள் ஊன்றுமிடங்களெனக் கொள்வோம். உ என்பது இம்முக்கோணத்தின் சூழ்வட்ட மையம் (Centre of circum-circle) என்று கொள்வோம். உ ஊ என்பது ஆ இ-க்கு செங்குறுக்காக இருப்பதால் இ ஊ $= \frac{\text{ஆ இ}}{2} = \frac{a}{2}$ ஆகும். இந்த முக்கோணத்தின் சூழ்வட்ட ஆரம் $x$ என்று கொண்டால் இ உ $= x$ ஆகும். நிற்க ∠ உ இ ஊ $=$ $\frac{1}{2}$∠ அ இ ஆ $= \frac{60^\circ}{2} = 30^\circ$

$$\therefore \text{உ ஊ} = \frac{\text{இ உ}}{2} = \frac{x}{2}$$

மற்றும் உ இ ஊ என்னும் செங்கோண முக்கோணத்தில் (Right angled triangle) இஉ$^2$ = உஊ$^2$ + இஊ$^2$

அல்லது

$$x^2 = \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2$$

அல்லது

$$x^2 - \frac{x^2}{4} = \frac{a^2}{4}$$

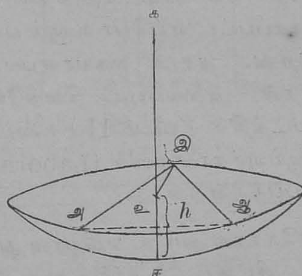
அல்லது

$$\frac{3x^2}{4} = \frac{a^2}{4}$$

அல்லது

$$x^2 = \frac{a^2}{3} \text{ ஆகும்.} \qquad (1)$$

அ ஆ இ ஈ என்னும் பரப்பின் R என்னும் ஆரத்தைக் காண அடுத்த படத்தைக் (படம் 10 (2)) காண்போம்.




படம் 10 (2)

அதில் உஇ$^2$ = $h$ (2கா — உஈ)

அல்லது $x^2 = h\,(2R - h)$ (2)

ஆகையால் (1), (2) என்னும் இணைவுகளை (Equation) ச் சேர்க்க

$$\frac{a^2}{3} = h(2R-h) \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது

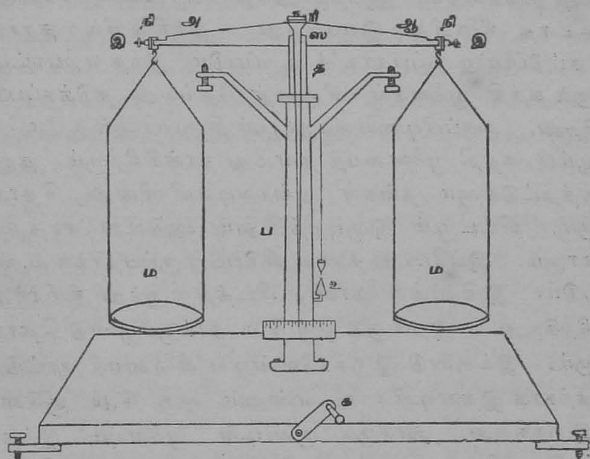
$$2Rh = \frac{a^2}{3} + h^2 \text{ அல்லது}$$

$$R = \frac{a^2}{6h} + \frac{h}{2} \text{ ஆகும்.}$$

நிறையை அளவிடுதல் :—சாதாரணத் தராசினால் நிறை அளவிடப்படும். இரண்டு சக்திகளை (Forces) ஒரு சட்டத்தின் இரு முனைகளிலும் தொழிற்படச் செய்து நடுவிலுள்ள ஒரு புள்ளியைச் சுற்றி அவ்விரு சக்திகளின் திருப்பியல்களைத் (moments) துலைப்படுத்தி நிறுப்பது வழக்கம். துலைப்படுத்தும் தத்துவத்தை நாம் விரிவாக மற்றோர் இடத்தில் காண்போம். இரண்டு நிறைகளை ஒப்பிடுவதற்கே தராசு பயன்படுகிறது. இவ்வாறு ஒப்பிடுதலையே நாம் நிறுத்தல் என்று கூறுகிறோம். நிறுக்கப்பட்ட எப்பொருளும் படிக்கற்களோடு ஒப்பிடப்படுகிறது. தராசு கையாளப்படும் முறையை யொட்டி அதன் அமைப்பும் வெவ்வேறு விதமாக இருக்கும். படத்தில் (படம் 11) கண்டதைப்போன்ற தராசுகளே ஆய்வுச்சாலைகளில் (Laboratories) பெரிதும் கையாளப்படுகின்றன.

இதில் இலேசானதும் உறுதியானதும் ஆன அஆ என்னும் ஒரு விட்டம் இருக்கிறது. இதன் நடுவிலே எஃகு (Steel) அல்லது அகேட்டினால் (Agate) ஆன ஸ என்னும் ஒரு கத்திமுனை கீழ்நோக்கி இருக்கிறது. இது த என்னும் கட்டையின்மேலே பொருத்தப்பட்டுள்ள கடினமும் தட்டையுமான தளத்தின்மீது தங்கி

நிற்கிறது. இக்கத்தி முனைக்குச் சமதூரத்தில் ஒவ்வொரு முனையிலும் ஒரு கத்தி முனை இருக்கிறது. இவை மேல் நோக்கி இருக்கின்றன. இவற்றினின்றும் நி நி என்னும் அங்கவடிகள் (Stirrups) தொங்குகின்றன. இந்த அங்கவடிகளினின்று ம ம என்னும் தட்டுகள் தொங்குகின்றன. நாம் ஒப்பிடவேண்டிய நிறைகளை இத்தட்டுகளில் வைக்கவேண்டும். விட்டத்தின் மத்தியிலிருந்து அதற்குச் செங்குறுக்காக ரி என்னும் நீண்ட ஒரு சூசிகை (Pointer) கீழ்நோக்கிச் செல்லுகிறது. விட்டம் ஆடும்போது இந்த சூசிகை கீழே பொருத்தப்பட்டுள்ள ஒரு அளவியின் அருகே அதைத்




படம் 11

தழுவிச் செல்லுகிறது. விட்டத்தின் இரு முனைகளிலும் இரண்டு மெல்லிய திருகுகள் நீண்டிருக்கின்றன. இவற்றின்மீது இஇ என்னும் மரைகள் சுழலுகின்றன. இந்த மரைகளைத் திருகுவதால் விட்டத்தின் சமநிலையை

நுணுக்கமாக மாற்றலாம். ஆகையால் இவற்றைக் கொண்டு, சூசிகையை, அதன் நுனிக் கருகிலுள்ள அளவியின் நடுப் பிரிவுக்கு இருபுறமும் சமதூரத்திற் குச் செல்லும்படி செய்யலாம். க என்னும் கைப் பிடியைத் திருப்பி த-வை அதைச் சூழ்ந்துள்ள ப என் னும் தூணிலுள்ளே சிறிது மேலும் கீழும் போகும் படிச் செய்யலாம். இக்கைப்பிடி இடதுபுறமிருக்கும் போது த தனது மிகத் தாழ்ந்த நிலையிலிருக்கும். இப் போது விட்டம், தூணினோடு வெளிப்புறமாக இரு புறங்களிலும் இணைக்கப்பட்டுள்ள கைதாங்கிகளின் மீது தங்கிநிற்கும். இரண்டு தட்டுகளும் பீடத்தின் மீது தங்கிவிடும். இப்போது தராசு வேலை செய்யக் கூடாத நிலையில் இருக்கிறது. இந்நிலையில் தராசு 'கட்டுப்பட்டிருப்பதாக'க் கூறப்படும். இந்த ஏற்பாட்டி னால் கத்தி முனைகள் வீணாகத் தேய்வது தடுக்கப்படு கிறது. கைப்பிடியை வலதுபுறம் திருப்பினால் த மேலெ ழும்பி, கத்தி முனையைத் தன்மீது தாங்கிநிற்கும். தரா சுத்தட்டுகளும் தங்கள் அங்கவடிகளினின்று தொங் கும். விட்டமும் இருபுறத்திலும் ஆடுவது சாத்திய மாகும். இப்போது தராசு விடுபட்டிருப்பதாகக் கூறப் படும். இதிலுள்ள தூண், பீடத்திலிருந்து நிமிர்ந்து நிற்கிறது. இதனோடு ஒரு சிறு தூக்குக்குண்டு தொங் கும். இக்குண்டு இருக்கவேண்டிய நிலையைக் காட்டுவ தற்காக இதனடியில் உ என்னும் ஒரு சிறு சூசிகை இருக்கிறது. தூக்குக் குண்டின் முனையும் இந்தச் சூசிகையின் முனையும் ஒன்றி இருந்தால், பீடம் சரியான படுகைத் தளத்திலிருப்பதாகக் கொள்ளலாம். அது அவ்வாறு இல்லாவிட்டால், பீடத்தின் அடியில் அதைத் தாங்கி நிற்கும் மூன்று மரைகளைச் சரிப்படுத்திப் பீடத் தைப் படுகைத் தளத்திற்குக் கொண்டுவரலாம். இத் தராசு காற்றினலலைக்கப்படாமல் இருப்பதற்காக ஒரு

கண்ணாடிப் பெட்டியினுள் வைக்கப்படும். ஒரு பெட்டியில் வைக்கப்பட்டுள்ள எடைகளைக்கொண்டு பொருள்களின் நிறையைக் காண்பார்கள். இந்த எடைகள் அப்பெட்டியினுள் தனித்தனி அறைகளில் வைக்கப்பட்டிருக்கும். இப்பெட்டியில் ஒரு சாமணமும் (Forceps) இருக்கிறது. எடைகளை எல்லாம் இச்சாமணத்தினுல் எடுத்துவைக்க வேண்டுமேயன்றி அவற்றைக் கையால் தொடக்கூடாது. இந்த விதியைப் பெரிய எடைகளாயினும் சரி, சிறிய எடைகளாயினும் சரி, கண்டிப்பாய்க் கடைப்பிடிக்கவேண்டும். சிறிய எடைகளை எடுக்கும்போது அவற்றை வளைத்துவிடக்கூடாது. இதற்காகவே வளைக்கப்பட்டுள்ள அவற்றின் விளிம்புகளைப் பிடித்தே, அவற்றை எடுக்கவேண்டும். தராசுத் தட்டின்மேல் வைக்கும்போது சிறிய எடைகளைப் பெரிய எடைகளின்மீது வைக்கலாம். இவ்வாறு செய்வதால் அவற்றை எடுப்பதும் வைப்பதும் மிக எளிதாக இருக்கும்.

நிறுக்கும்போது நினைவில் கொள்ளவேண்டியன: ஒரு பொருளை நிறுக்கத் தொடங்கும்போது முதலில் பீடத்தைப் படுகைத் தளத்தில் இருக்கச் செய்யவேண்டும். அடியிலுள்ள மரைகளின் உதவியால் தூக்குக் குண்டின் நுனியும் சிறு சூசிகையின் நுனியும் ஒன்றுபடச் செய்தால் பீடம் படுகைத் தளத்தை அடையும். இப்போது கைப்பிடியைத் திருப்பி விட்டத்தை மேலெழுப்பவும். சூசிகை அளவியின் அருகே நகர்ந்து செல்லும். நடுப்பிரிவுக்கு இரு புறமும் சூசிகையின் நுனி சம வீச்சு கொண்டிருக்கவேண்டும். அப்படியில்லாவிட்டால் இ இ என்னும் திருகுகளைத் தக்கவாறு திருகிச் சரிப்படுத்தலாம். இவ்வாறு செய்யும்போது தராசின் எப்பாகத்திற்கும், முக்கியமாக அதன் கத்திமுனைகளுக்கு எவ்விதத் தீங்கும் நேரிடாதவண்ணம்

பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். இவையெல்லாம் சரிப் பட்டவுடன், தராசைக் கட்டுப்படுத்திவிட்டு, இடது தட்டில் நிறுக்கவேண்டிய பொருளையும், வலது தட்டில் எடையையும் வைக்கவும். முதலில் பெரிய எடையில் ஆரம்பித்து வரவரக் கீழ்நோக்கிச் செல்லவேண்டும். எடைகளை வைக்கும்போதும் எடுக்கும்போதும் தராசு கட்டுப்பட்டிருக்கவேண்டும். மிகச் சிறிய எடைகளை உபயோகிக்கும்போதும் இவ்விதியைக் கண்டிப்பாய் அநுசரிக்கவேண்டும். எடைகள் துலைப்படுகின்றனவா என்று பார்ப்பதற்கு விட்டத்தை முழுதும் தூக்கவேண்டிய அவசியமில்லை. சிறிது தூக்கியவுடனே விட்டம் எப்புறம் சாய்கிறதென்பது தெரிந்துவிடும். சென்டிகிராம் எடைகள் வரும்வரை முழுதும் தூக்கவேண்டுவது அவசியமேயில்லை. சூசிகையின் ஆட்டத்தைக் கடைசியாகக் கவனிக்கும்போது தராசுப் பெட்டியை முழுதும் மூடிவிடவேண்டும். நிறுத்தானவுடன் எடைகளைத் தட்டிலிருந்தபடியே எண்ணிக் கூட்டிக் குறித்துக்கொண்டுவிடவேண்டும். பிறகு ஒவ்வொன்றாகச் சாமணத்தால் எடுத்துப் பெட்டியில் வைக்கும்போது மறுபடியும் கூட்டிச் சரிபார்க்கவேண்டும். இவ்வாறு செய்யத் தவறினால், நிறையின் மதிப்பு தவறி மறந்துபோய்விட, மறுபடியும் நிறுக்கவேண்டி நேரிடும். எடைகளை, அவற்றின் பெட்டியிலோ அல்லது தராசுத் தட்டிலோ அன்றி வேறெவ்விடத்திலும் வைக்கக்கூடாது. ஒரு பொருள், ஆய்வுச்சாலையிலுள்ள பவனச் சூட்டை (Atmospheric temperature) விட மிக உயர்ந்த சூட்டைக் கொண்டிருப்பின், அதன் நிறையைக் காண்பது சிரமம். ஏனெனில், அதனருகே காற்றோட்டம் (Air currents) ஏற்பட்டு, தராசின் சமநிலை குலைந்துபோகும் ஆகையால் சூடானபொருள்களை நிறுக்கக்கூடாது. உலோகங்களை அரித்துவிடக்கூடிய தன்மை வாய்ந்த திரவங்களை

நன்றாக மூடியிட்ட கலங்களில் வைத்துதான் நிறுக்கலாம். அக்கலங்களைத் தராசுத் தட்டின்மீது வைக்குமுன், அவற்றின் வெளிப்புறத்தை நன்றாகத் துடைத்து விடவேண்டும். ஒரு தராசு தாங்கக்கூடிய உச்சநிறையைவிட அதிக நிறை கொண்ட பொருள்களை அத்தராசில் இட்டு நிறுக்கக்கூடாது.

தராசின் 'தங்கு நிலை' (Resting point of a balance) :—தராசினது சூசிகையின் ஆட்டம் வரவர வீச்சிலே குறைந்து கடைசியாக ஆட்டம் நின்றுவிடுகிறது. இவ்வாறு நிற்கும்போது சூசிகை எந்தப் பிரிவுக்கு எதிரே வந்து தங்குகிறதோ அப்பிரிவுக்குத் 'தங்கு நிலை' என்று பெயர். தட்டுகளிலே சுமையில்லாதபோது இவ்வாறு தங்குமிடத்தை 'சூனியத் தங்கு நிலை' அல்லது சுருக்கமாக 'சூனிய நிலை' என்று கூறுவது வழக்கம். இத்தங்கு நிலையைக் காணுவதற்கு, சூசிகையின் ஆட்டம் நிற்கும் வரையில் காத்திருக்க வேண்டிய அவசியம் இல்லை. அதை எளிதாகக் காணும் முறையொன்றுண்டு. அது வருமாறு : தராசின் முன்னிலையில் நின்றுகொண்டு, அதன் விட்டத்தை ஆடச் செய்யவும். சில ஆட்டங்கள் ஆனபிறகு, சூசிகையின் நுனி, அளவியின் எல்லையைத் தாண்டிச் செல்லாமல் உள்ளடங்கி இருக்கும் சமயத்தில், அதன் நுனி இருபுறங்களிலும் எந்தப் பிரிவுகள்வரை சென்று திரும்புகிறதோ, அந்தப் பிரிவுகளைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இவ்வாறு சூசிகையின் முனை சென்று திரும்புமிடங்களுக்கு 'திரும்பு நிலைகள்' (Turning points) என்று பெயர். ஆட்டத்தின் வீச்சு வரவரக் குறைந்து வருவதால், ஒரு வீச்சும் அதற்கடுத்து எதிர் திசையில் சென்ற வீச்சும் சமமாய் இருக்காது. இதற்காக ஒரு ஒற்றைப்படை எண்ணுள்ள திரும்பு நிலைகளைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். உதாரணமாக

இடதுபுறத்தில் மூன்றும், வலது புறத்தில் இரண்டுமாகக் கொள்ளலாம். இடதுபுற வாசகங்களின் பொதுமையையும், வலதுபுற வாசகங்களின் பொதுமையையும் தனித்தனியே கண்டு, இவ்விரண்டு பொதுமைகளின் பொதுமை கண்டால், அதுவே தங்குநிலையாகும்.

தராசின் உணர்வுக் கூர்மை (Sensibility) :— தராசுத் தட்டுகளில் யாதொரு சுமையும் இல்லாதிருப்பின், பொதுவாக அதன் தங்கு நிலை சூனியமாக இருக்கும். இப்போது வலது தட்டிலே ஒரு சிறு எடையை இட்டால், சூசிகை இடதுபுறம் நகர்ந்து, தங்குநிலையும் இடதுபுறமாக நகர்ந்துவிடும். $m$ கிராம் எடையை இட, தங்குநிலை $x$ பிரிவுகள் நகர்ந்திருப்பதாகக் கொள்ளுவோம். அதனால் ஒரு பிரிவு நகருவதற்கு $\frac{m}{x}$ கிராம் எடை வேண்டுமென்று கொள்ளலாம். இவ்வாறு தங்கு நிலை ஒரு பிரிவு நகருவதற்காக ஒரு தட்டிலே இடவேண்டிய $\frac{m}{x}$ கிராம் எடையே, அத்தராசின் 'உணர்வுக் கூர்மை' எனப்படும். எனவே ஒரு தராசின் தங்கு நிலையை ஒரு பிரிவு தூரம் நகர்த்துவதற்கு வேண்டிய எடையே அத்தராசின் உணர்வுக்கூர்மை என்று கூறலாம். இது சுமையேற்றப்படாத தராசின் உணர்வுக் கூர்மையாகும்.

நாம் இரண்டு தட்டுகளிலும் சமமான எடைகளை (10 கிராம் என்று கொள்வோம்) இட்டால் தங்குநிலை சூனியமாகவே இருக்கும். இப்போது ஒரு தட்டில் ஒரு சிறு எடையை (10 மி. கிராம் என்று கொள்வோம்)க் கூட இட்டால் மறுபடியும் தங்குநிலை நகர்ந்துவிடும். எனவே இப்போதும் தராசின் உணர்வுக்கூர்மையைக் காணலாம். இவ்வுணர்வுக்கூர்மையை மேலே கண்ட சுமைக்குரிய (10 கிராம்) தராசின் உணர்வுக்

கூர்மை என்பார்கள். மூன்று கத்தி முனைகளும் ஒரே மட்டத்தில் இருந்தால் உணர்வுக்கூர்மை எல்லாச் சுமைகளிலும் ஒன்றாகவே இருக்கும். ஆனால் இவ்வாறிருக்கும்படி செய்யப்பட்ட தராசுகளிலும் சுமையேற்றுவதால், விட்டம் ஓரங்களில் சிறிது வளைந்து கொடுக்க, மூன்று கத்தி முனைகளும் ஒரே மட்டத்திலிருப்பதில்லை. எனவே தராசின் உணர்வுக்கூர்மை தட்டிலேற்றப்பட்டுள்ள சுமையினால் பாதிக்கப்படும்.

நிறுத்தல் :—முதலில் தராசைச் சரிப்படுத்தி அதன் சூனிய நிலையைக் கண்டுபிடிக்கவும். அது $a$ என்று கொள்வோம். நிறுக்கவேண்டிய பொருளை இடதுதட்டில் வைத்து, அதைவிட அதிக நிறையுள்ளதாகத் தோன்றும் ஓர் எடையை வலது தட்டிலிடவும். தராசைச் சிறிது விடுவித்து, நாம் இட்ட எடை மிகப் பெரிதுதானா என்று பார்க்கவும். அவ்வாறிருந்தால் அதை எடுத்துவிட்டு, அதற்கு அடுத்த சிறிய எடையை இட்டுப் பார்க்கவும். இவ்வாறே மேன்மேலும் செய்து கொண்டுபோய், தராசு விடுபட்டிருக்கும்போது விட்டம் ஆடும்படியாகவும், சுசிகையின் வீச்சு நடுப்பிரிவின் இருபுறமும் ஏறக்குறைய சமமாக இருக்கும்படியாகவும் செய்யவும். இப்போது வலது தட்டிலுள்ள எடை $w$ கிராம் என்று கொள்வோம். அதன் தங்குநிலையாகிய $b$-யைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். வலது தட்டிலிருந்து 10 மி. கிராம் எடையை எடுத்தோ, அல்லது அதில் 10 மி. கிராம் எடையைக் கூட இட்டோ, சூனிய தங்கு நிலையாகிய $a$-யை அணுகச் செய்வதற்கு வேண்டியபடி செய்யவும். மறுபடியும் அதன் தங்கு நிலையாகிய $c$-யைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். நாம் இட்ட பொருளின் நிறை $w$-யை விட அதிகமாய் இருப்பின் $b$, $a$-க்கு இடதுபுறத்திலிருக்கும். எடை, பொருளை விட அதிக நிறை கொண்டதாயின் $b$, $a$-க்கு வலது

புறத்திலிருக்கும். நாம் $a$-க்கு வலது புறத்தில் $c$-யும் $a$-க்கு இடதுபுறத்தில் $b$-யும் இருப்பதாகக்கொள்வோம். இப்போது $w$ நாம் கொண்ட பொருளின் எடையை விடக் குறைவானது. எனவே அப்பொருளின் உண்மையான நிறையைக் காண முயலுவோம்.

10 மி. கிராம் எடையினால் ஏற்பட்ட விலக்கம் $(b-c)$;

ஆகையால் 1 பிரிவு விலக்கம் ஏற்படுவதற்கு வேண்டிய எடை $\left(\frac{10}{b-c}\right)$ மி. கிராம்;

உண்மையான எடையை இட்டால் தங்குநிலை $a$-யை அடையும்.

இவ்வாறு வருவதற்கு வேண்டிய விலக்கம் $(b-a)$.

இவ்விலக்கத்தை உண்டாக்குவதற்கு வேண்டிய எடை $\frac{(b-a)10}{(b-c)}$ மி. கிராம்.

எனவே இவ்வெடையை $w$-வோடு கூட்ட நாம் எடுத்துக்கொண்ட பொருளின் உண்மையான நிறை கிடைக்கும்.

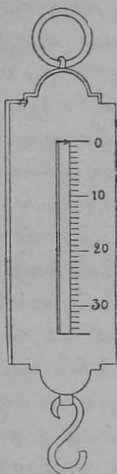
ஆகையால் பொருளின் நிறை =

$w$ கிராம் $+ \frac{(b-a)\,10}{(b-c)}$ மி. கிராம் ஆகும்.

$= \left\{ w + \frac{(b-a)}{10(b-c)} \right\}$ கிராம்.

இங்கே நிறையை ஒரு மில்லிகிராம் வரையில் திருத்தமாகக் கண்டிருக்கிறது.

வில் தராசு (Spring Balance) :—இது பொருள்களின் எடையைக் காண்பதற்குரிய மற்றொரு சாதனம். இதில் ஒரு விற்சுருளின் மேல்முனை ஒரு கைப்பிடியோடும், கீழ்முனை ஒரு கொக்கியோடும் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனோடு பொருத்தப்பட்ட ஒரு சூசிகை, விற்சுருளின் முன்னே அதைச் சூழ்ந்துள்ள கூட்டினோடு இணைக்கப்பட்ட ஒரு அளவியின்மீது நகர்ந்து செல்லுகிறது. எடை காணவேண்டிய பொருளை இதன் கொக்கியில் மாட்டித் தொங்கவிடவும். (படம் 12) சூசிகையின் வாசகம் அப்பொருளின் எடையைக் காட்டும். இது கிராம்களிலோ அல்லது பவுண்டுகளிலோ குறிக்கப்படும். இதன் அமைப்பு ஹூக்கின் நெகிழ்ச்சி விதியை (Hooke's Law) அடிப்படையாகக்கொண்டது.



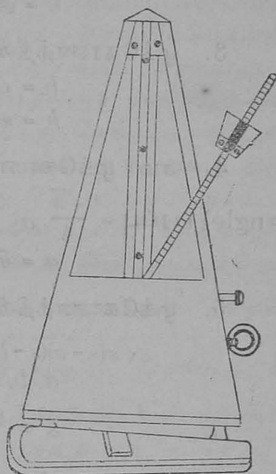
படம் 12

காலத்தை அளத்தல் :—விஞ்ஞானத் துறையில் கால அலகானது, நாம் முன்னே கூறியபடி பொதுமைச் சௌர செகண்டு ஆகும். இது பூமி தனது இருசிலே சுழலும் வேகத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது. வானவியல் பரிசோதனைகளால் இதை நிர்ணயிக்கிறார்கள். இவ்வலகினது பகுதிகளையும், அவற்றின் பன்மடங்குகளையும் அளப்பதற்கு நாம் கடியாரங்களைக் கையாளுகிறோம். நாலத்தின் (Pendulum) ஆட்டங்களும், துலைச்சக்கரத்தின் (Balance Wheel) ஆட்டங்களும், சீரான பொழுதுகளைக் (Periods) கொண்டன என்ற உண்மையை ஆதாரமாகக்கொண்டு, இக்கடியாரங்கள் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவ்வாறு ஆடுகின்ற பொருளே கடியாரத்தில் மிகப் பிரதானமான உறுப்பு.

மற்ற அங்கங்கள், ஆட்டத்தை நலிந்துபோகாமல் தூண்டுவதற்கும், அவற்றை எண்ணிக் காட்டுவதற்குமே ஏற்பட்டன. கால அளவிற்காக முற்றிலும் நம்பக்கூடியதும், தவறுமல் ஒழுங்காக வேலைசெய்யக்கூடியதுமான கருவிகள் இன்னும் செய்யப்படவில்லை. ஆனால் கடியாரத்தின் வேகத்தை அவ்வப்பொழுது வானவியல் பரிசோதனைகளால் திருத்திக்கொள்ளலாம். மிக நுணுக்கமான வேலைகளுக்கன்றி, சாமானிய வேலைகளுக்கெல்லாம் ஒரு நல்ல கடியாரம் காட்டும் நேரமே சரியென்று கொள்ளலாம். கடியாரம் ஒழுங்காக ஓடிக்கொண்டிருந்தாலும், அதைக்கொண்டு சரியான நேரத்தைக் காண்பது எளிதல்ல. அனேக கடியாரங்களில் செகண்டு முள் சீராக நகராமல் குதித்துக் குதித்து நகரும். துலைச்சக்கரம் அல்லது நாலம், தனது நடுநிலையைக் கடக்கும்போதெல்லாம, செகண்டு முள் மேற்கூறியபடி ஒருமுறை குதிக்கும். ஆகையால் இச்சைப்படி நிறுத்தக்கூடிய கடியாரத்தைக் (Stop Watch) கொண்டு நேரத்தை அளக்குங்கால், துவக்கும்போதும் நிறுத்தும்போதும், அதன் பொழுதில் பாதிக்குச் சமமான பிழை இருக்கலாம். ஆகையால் அத்தகைய கடியாரங்களினுல் காணப்படும் கால அளவுகளில், நாம் அதன் பொழுதுக்குக் குறைவான நுணுக்கத்தை எதிர்பார்க்கவே முடியாது. ஆகையால் கால அளவுகள் கடியாரங்களின் பொழுதைவிடக் கூடியவரை பெரிதாகவே கொண்டு அளவிடவேண்டும். ஒரு கைக்கடியாரம் செகண்டுக்கு ஐந்து முறை துடிக்குமானுல், அக்கடியாரத்தைக்கொண்டு ·001 நுணுக்கமான அளவுகளைக் காண்பதற்கு மூன்று நிமிஷங்களுக்கு மேலே நாம் அளவிடவேண்டும்.

பாணி (Metronome) :— (படம் 13) இதுவும் ஒரு கடியார யந்திரமேயாகும். இது சமமான கால

வெல்லீகளில் பலத்த ஓசை செய்கிறது. இதன் துடி கோலின் (Vibrator) மீதுள்ள ஒரு சிறு எடையை நகர்த்தி, இக்காலவெல்லியை நாம் விரும்பியபடி மாற்றிக்கொள்ளலாம். இதனோடு எப்போதும் ஒரு மணி சேர்க்கப்பட்டிருக்கும். 2, 3, 4, 5 அல்லது நாம் விரும்பிய எத்தனை துடிப்புக்கொருமுறை வேண்டுமானாலும், இம்மணியை ஒலிக்கச்செய்யலாம். இப்பாணியை ஒரு நல்ல கட்டளைக் கடியாரத்துடன் ஒப்பிட்டு, அதன் பொழுதைச் சரிப்படுத்திக் கொள்ளவேண்டும். பல துடிப்புகளுக்கான நேரத்தைக் கடியாரத்தால் அளந்து, அதைத் துடிப்புகளின் எண்ணிக்கையால் வகுக்க, இரண்டு துடிப்புகளுக்கிடைப்பட்ட நேரம் கிடைக்கும்.



படம் 13

வழியலகு இராசிகளை அளத்தல்:—வழியலகு இராசிகளுக்குள்ளே மிக எளிதாக அளவிடக்கூடியன பரப்பும் (Area), பருமையும் (Volume) ஆகும்.

பரப்பு:—செம்மையான வடிவியல் உருவங்களின் பரப்புகள் அவற்றின் அளவைகளைக் (Dimensions) கொண்டு வடிவியல் கணக்கீடு (Mensuration) முறையால் காணலாம். சில செம்மை உருவங்களின் பரப்பு வருமாறு:—

1. சதுரத்தின் (Square) பரப்பு = $a^2$

$a$ = சிறையின் நீளம்.

2. நேரகத்தின் (Rectangle) பரப்பு = $ab$

$a$ = நீளம்.

$b$ = அகலம்.

3. முக்கோணத்தின் (Triangle) பரப்பு = $\frac{1}{2}bh$

$b$ = பீடம்.

$h$ = உயரம்.

4. சம முக்கோணத்தின் (Equilateral triangle) பரப்பு = $\frac{\sqrt{3}}{4} a^2$

$a$ = சிறையின் நீளம்.

5. முக்கோணத்தின் பரப்பு =

$$\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

$a, b, c$ = சிறைகளின் நீளம்.

$$s = \frac{a+b+c}{2}$$

6. இணைகரத்தின் (Parallelogram) பரப்பு=$bh$.

$b$ = பீடம்.

$h$ = உயரம்.

7. வட்டத்தின் (Circle) பரப்பு = $\pi\gamma^2$

$\gamma$ = ஆரம்.

8. ஆயதத்தின் (Ellipse) பரப்பு = $\pi ab$

$2a$ = பெரிய இருசு.

$2b$ = சிறிய இருசு.

9. கோளத்தின் (Sphere) மேற்பரப்பு = $4\pi\gamma^2$

$\gamma$ = ஆரம்.

பரப்புகளை அளப்பதற்குரிய அலகு, சதுர சென்டிமீடர் அல்லது சதுர அங்குலமாகும். இவை முறையே 1 செ. மீ. அல்லது 1 அங். சிறைகளாகக்கொண்ட சது

ரங்களின் பரப்புகளாகும். அளக்கவேண்டிய உருவம் ஒழுங்கற்றதாய் இருந்தால் ஒரு சதுரங்கத் தாளின் (Graph-paper) மீது அவ்வுருவின் விளிம்பெல்லையை (outline) வரைந்துகொள்ளவும். இவ்விளிம்பெல்லைக் குள் கட்டுப்பட்டுள்ள சிறு சதுரங்களை எண்ணவும். இவ்வாறு எண்ணும்போது பாதிக்குக் குறைந்துள்ள கட்டங்களை விட்டுவிட்டுப் பாதிக்கு மேற்பட்ட கட்டங் களை ஒன்றாகச் சேர்த்து எண்ணிக்கொள்ளவும். இவ் வெண்ணிக்கையை ஒவ்வொரு சிறு கட்டத்தினுடைய பரப்பினுல் பெருக்க, அவ்வுருவின் பரப்பு கிடைக்கும். அங்குலத் தாளானுல், ஒவ்வொரு சிறு கட்டத்தினு டைய சிறை $\frac{1''}{10}$ ஆகவிருக்கும். ஆகையால் அதன் பரப்பு $\frac{1}{100} = \cdot 01$ ச. அங்குலம் ஆகும். சென்டிமீடர் தாளானுல், ஒவ்வொரு கட்டத்தின் சிறை 1 மி. மீடரும் அதன் பரப்பு 1 ச. மி. மீ. அல்லது ·01 ச. செ. மீ. ஆகவிருக்கும்.

ஒழுங்கற்ற உருவங்களின் பரப்பை நிறுத்தும் காணலாம். இம்முறை வருமாறு:—உருவத்தின் விளிம்பெல்லையை ஒரு சீரான கனமுள்ள அட்டையின் மீது வரையவும். அதை அப்படியே வெட்டி எடுத்து, அதன் நிறையாகிய $w$ வை ஒரு தராசின் உதவியால் காணவும். அதே அட்டையில் $a$ அலகுகள் (செ.மீ. அல்லது அங்.) சிறை கொண்ட ஒரு சதுரத்தை வரைந்து, அதையும் வெட்டியெடுத்து, அதன் நிறையா கிய $m$-ஐக் காணவும். அட்டையின் கனம் சீராய் இருப் பதால், அட்டைத் துண்டுகளின் நிறை அவற்றின் பரப் புக்கு ஏற்ப இருக்கும். ஆகையால் நாம் எடுத்துக் கொண்ட உருவத்தின் பரப்பு $\left(\frac{w\,a^2}{m}\right)$ ஆகும்.

பருமை : நேர்வடிவுருவங்களின் (Regular Geometrical Solids) பருமை அளவுகளை அளந்து வடிவியல் வாய்பாடுகளால் கணக்கிட்டுவிடலாம். அவற்றில் சில வருமாறு :—

1. செங்கட்டியின் (Cube) பருமை $= a^3$

$a$ = சிறையின் நீளம்.

2. செங்கட்டிப்போலி அல்லது நேரகக்கட்டியின் (Cuboid) பருமை $= abc$;

$a$ = நீளம்.
$b$ = அகலம்.
$c$ = உயரம்.

3. இணைகரக் கட்டியின் (Parallelepiped) பருமை $= abh$.

$a$ = பீடத்தின் நீளம்.
$b$ = பீடத்தின் அகலம்.
$h$ = உயரம்.

4. உருளையின் (Cylinder) பருமை $= \pi r^2 h$.

$r$ = பீடத்தின் ஆரம்.
$h$ = உயரம்.

5. கூருருளையின் (Cone) பருமை $= \frac{1}{3}\pi r^2 h$.

$r$ = பீடத்தின் ஆரம்.
$h$ = உயரம்.

6. கோளத்தின் (Sphere) பருமை $= \frac{4}{3}\pi r^3$

$r$ = ஆரம்.

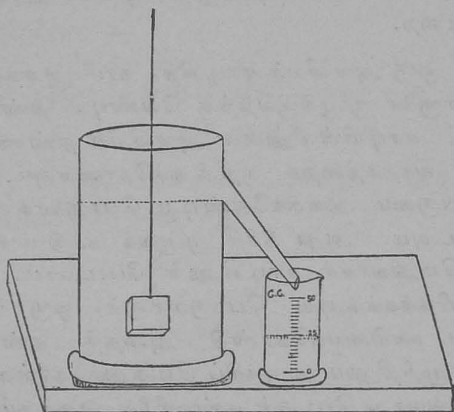
ஒழுங்கற்ற கட்டிப்பொருள்களின் பருமைகளை மூன்று முறைகளால் காணலாம். (1) ஒரு அளவியல்

சாடியால் (Graduated jar) காண்பது. (2) வழியும் கலமும் (Overflow vessel) அளவியல் சாடியும் கொண்டு காண்பது. (3) ஆர்கிமிடியின் (Archimedes) முறை.

1. ஒரு அளவியல் சாடியில், நாம் அளக்கவேண்டிய பொருளை முழுக்குவதற்கு வேண்டிய தண்ணீரை விடவும். சாடியின்மீதுள்ள அளவியில் தண்ணீர் மட்டத்தின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது பருமை அளக்கவேண்டிய பொருளைச் சாடியினுள் இடவும். அது நீரில் முழுகக் கூடுமானல், அதை மெதுவாகச் சாடியினுள் போடலாம். அது நீரில் மிதக்கக்கூடிய பொருளானல், ஒரு நீண்ட மெல்லிய ஊசியைக்கொண்டு அதைத் தண்ணீருக்குள்ளே முற்றிலும் அமுக்கிப் பிடித்துக்கொள்ளவேண்டும். இவ்வாறு பொருள் தண்ணீரில் இருக்கும்போது அதன்மேல் காற்றுக் குமிழிகள் ஒட்டிக்கொள்ளாதபடி பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும். இப்போது நாம் இட்ட பொருள் தன் பருமையளவு தண்ணீரை வெளியே தள்ளும். அதனல் நீரின் மட்டம் உயரும். இப்போது நீரின் மட்டத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இந்த இரண்டு வாசகங்களின் வேற்றுமையே பொருளின் பருமையாகும்.

2. வழியும் கலம் என்பது உலோகத்தாலான ஒரு குவளை. (படம் 14) இதன் வாய்க்கருகே சுவற்றில் ஒரு சிறு தூம்பு (Jet) இருக்கும். இதில் நிறைய தண்ணீரை ஊற்றவும். தண்ணீர் தூம்பின் உள்வாய் மட்டத்திலேயே நிற்கும். அதற்கு அதிகப்பட்ட தண்ணீரெல்லாம் தூம்பின் வழியாக வழிந்து வெளியேறிவிடும். ஒரு அளவியல் சாடியில் சிறிது தண்ணீரைப் பெய்து நீர்மட்டத்தைக் குறித்துக்கொண்டு, அதைத் தூம்பின் வாய்க்கு அடியிலே வைக்கவும். நாம் பருமை காண

வேண்டிய பொருளை ஒரு நூலின் நுனியில் கட்டி, அல்லது ஒரு ஊசியின் முனையில் கோர்த்து, அதை மெது




படம் 14

வாகத் தண்ணீரினுள் முற்றிலும் அமுக்கவும். அது தனது பருமையளவு தண்ணீரைத் தூம்பின் வழியாக அளவுச் சாடியில் தள்ளும். மறுபடியும் அளவுச் சாடியில் நீர் மட்டத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும்.

இந்த இரண்டு வாசகங்களின் வேற்றுமையே நாம் எடுத்துக்கொண்ட பொருளின் பருமையாகும். மூன்றுவது முறையை நீர்நிலையியலிலே (Hydrostatics) காண்போம்.

உதாரணம் 1:—ஒரு கோளமானியின் கால்கள் ஒரு சமமுக்கோணத்தின் முனைகளாக அமைந்திருக்கின்றன. இம்முக்கோணத்தின் சிறை 11·1 செ.மீ. சமதளப் பரப்பின் மீது இக்கோளமானி தனது நான்கு கால்களையும் ஊன்றி நிற்கும்போது, அதன் வாசகம் 24·99 மி.மீ. ஒரு கோளப் பரப்பின்மீது நிற்

கும்போது அதன் வாசகம் 28·27 மி.மீ. கோளப் பரப்பின் ஆரத்தைக் காண்க.

முக்கோணத்தின் சிறையாகிய $l = 11{\cdot}1$ செ.மீ.

திருகுமுனை நகர்ந்த தூரமாகிய $d$

$= 28{\cdot}27$ மி.மீ. $- 24{\cdot}99$ மி.மீ.

$= 3{\cdot}28$ மி.மீ. $= {\cdot}328$ செ.மீ.

கோளத்தின் ஆரமாகிய $R = \frac{l^2}{6d} + \frac{d}{2}$

$= \frac{(11{\cdot}1)^2}{6 \times {\cdot}328} + \frac{{\cdot}328}{2}$

$= (62{\cdot}59 + {\cdot}16)$ செ.மீ.

$=$ **62·75** செ.மீ.

உதாரணம் 2 :—ஒரு தராசின் ஒவ்வொரு தட்டிலும் 20 கி. எடையிருக்க அதன் விட்டம் ஆடுகிறது. தொடர்ந்த மூன்று திரும்புநிலைகள் 4, 12, 5 ஆகும். ஒரு தட்டிலே 0·5 கி. அதிகமாக இடவே தொடர்ந்த மூன்று திரும்பு நிலைகள் 9, 15, 9·5 என்று காணப்பட்டன. தராசின் உணர்வுக்கூர்மையைக் காண்க.

(சென்னை : 1911)

முதல் வகையில் தங்கு நிலை

$= \frac{4{\cdot}5 + 12}{2} = 8{\cdot}25$ ஆகும்.

இரண்டாம் வகையில் தங்கு நிலை

$\frac{9{\cdot}25 + 15}{2} = 12{\cdot}12$ ஆகும்.

$\therefore$ தங்கு நிலை விலக்கம் $12{\cdot}12 - 8{\cdot}25$

$= 3{\cdot}87$ பிரிவு ஆகும்.

இதற்காக ஏற்றவேண்டிய அதிக எடை ·5 கி. அல்லது 500 மி. கிராம்.

எனவே ஒரு பிரிவினளவுக்குத் தங்குகிலே விலக்கம் ஏற்படுவதற்காக ஏற்றவேண்டிய அதிக எடை

$$\frac{500}{3 \cdot 87} = 129 \text{ மி. கிராம்.}$$

தட்டில் 20 கிராம் எடை நிற்கும்போது தராசின் உணர்வுக்கூர்மை = 129 மி. கிராம்.

---

## வினக்கள்

1. ஒரு அளவி, அங்குலத்தின் இருபதிலொரு பங்கு வரை வகுக்கப்பட்டுள்ளது. இதைக்கொண்டு ஒரு வெர்னியரின் உதவியால் 0·002 அங். வரை நுணுக்கமாக வாசிக்கவேண்டும். (a) அளவியின் திசையிலே எண்ணிடப்பட்டதொன்றும் (b) அதற்கு எதிர்த் திசையிலே எண்ணிடப்பட்டதொன்றுமான இரண்டு வெர்னியர்களை எவ்வாறு இயற்றலாமென்று விவரிக்க. வாசகம் 0·138 அங். ஆனபோது இந்த வெர்னியர்களின் நிலைகளைப் படமிட்டுக் காட்டுக.

(சென்னை 1925 மார்ச்.)

2. வெர்னியரின் தத்துவத்தை விளக்குக:

ஒரு அளவியிலே ஒவ்வொரு அங்குலமும் பத்து பிரிவுகளாக வகுக்கப்பட்டிருக்கிறது. ·002 அங்குலத்திற்கு நுணுக்கமாக அளவிடக்கூடியதொரு வெர்னியரை இதைக்கொண்டு எவ்வாறு அமைக்கலாம். 0·652"க் காட்டும்போது அளவியும் வெர்னியரும் இருக்கும் நிலையைப் படம் வரைந்து காட்டவும்.

(அண்ணமலை 1931)

3. ஒரு கோளமானியை வருணித்து அதைக்கொண்டு ஒரு குழியாடியின் வளைவு ஆரத்தை எவ்வாறு காணலாமென்று விளக்குக.

(சென்னை செப். 1931)

4. ஒரு தராசின் தங்கு நிலையை எவ்வாறு நிர்ணயிப்பது?

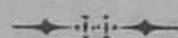
ஒரு தராசின் சூனியநிலை 5·1. இதன் இடது தட்டிலே ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டு அது முதலில்

24.62 கிராம் எடையினாலும், பின்னர் 24·63 கிராம் எடையினாலும் துலைப்படுத்தப்படுகிறது. இவற்றிலே தங்குநிலைகள் முறையே 6·1, 4·9 ஆனால் அப்பொருளின் எடையை ஒரு மில்லிகிராமுக்கு நுணுக்கமாகக் கணக்கிடுக.

(சென்னை 1927 மார்ச்.)

---

# அத்தியாயம் 2



## இயக்கவியல் (DYNAMICS)

### இடப் பெயர்ச்சியும் கதியும் (**Displacement and Velocity**)

இயக்கவியல் விஞ்ஞானத்துறையின் ஒரு பகுதியாகும். அது சக்திகள் தொழிற்படுவதால் பொருள்களில் ஏற்படும் இயக்கத்தைப்பற்றி விசாரிக்கிறது. சக்திகள் தொழிற்படுவதால், பதார்த்தத்திலேற்படும் விளைவுகளைப்பற்றி விசாரிக்கும் பௌதிகத் துறைக்குப் பொதுவான பெயர் யந்திரவியல் (Mechanics) என்பதாகும். இயக்கவியலும் (Dynamics) நிலையியலும் (Statics) இதனுள் இரண்டு பகுதிகளாகும். நிலையியல் என்பது சக்திகள் தொழிற்பட்டுச் சமநிலையில் இருக்கும் பொருள்களைப்பற்றிக் கூறுவது. இயக்கவியல், நிலையியல் என்னுமிரண்டு பதங்களும், கட்டிப்பொருள்களைப்பற்றிக் கூறுவதே மரபு. ஓடி (Fluids) களைப்பற்றிக் கூறும் பௌதிகப் பகுதிகளை புனலியக்கவியல் (Hydrodynamics) என்றும், புனல் நிலையியல் (Hydrostatics) என்றும் கூறுவார்கள். மேலே கண்ட துறைகளைப்பற்றிக் கூறும்போது 'பொருள்' (body) 'துகள்' (particle) என்னும் பதங்கள் பெரிதும் கையாளப்படும். பொருள் என்பது ஒரு வரையறுக்கப்பட்ட அளவுள்ள பதார்த்தமாகும். 'துகள்' என்பது ஒரு புள்ளியென்றே கொள்ளத்தக்க மிகச் சிறியதொரு பொருளாகும்.

இயக்கமும் இடப்பெயர்ச்சியும் (Motion and Displacement): ஒரு பொருள் பலவேறு காலங்களில் பலவேறு இடங்களில் இருந்தால் அது இயங்குவதாகக்

கூறப்படும். ஒரு பொருளின் இயக்கத்தைக் காண வேண்டுமானால், நாம் பல நொடிகளில் (instants) அதன் நிலைகளைக் கண்டு, அது இயங்குகிறதா அல்லவா என்று தீர்மானிக்கவேண்டும். ஒரு பொருள் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்கு நகர்ந்தால், அது பெயர்ந்திருப்பதாகக் கூறப்படும். இடப் பெயர்ச்சிக்கு அளவும் திசையும் உண்டு. ஆகையால் ஒரு பொருள் P என்னுமிடத்திலிருந்து அதற்கு நேர் வடக்கே 1 மீடர் தூரத்திலுள்ள Q என்ற இடத்தை அடைந்தால், நாம் அதன் இடப் பெயர்ச்சி வடதிசையில் ஒரு மீடர் என்று கூறி, அதை முற்றிலும் வரையறுத்துவிடலாம். முதல் நிலைக்கும் இறுதி நிலைக்கும் இடைப்பட்ட நேர் கோட்டைக்கொண்டே பெயர்ச்சி அளவிடப்படும். பெயர்ச்சிக்கு அளவும் திசையும் இருப்பதால் அதை ஒரு நேர்கோட்டினால் குறிப்பிடலாம். அந்நேர்கோட்டின் நீளம் பெயர்ச்சியின் அளவுக்கு ஏற்ப இருக்க வேண்டும். அதன் திசை, இடப் பெயர்ச்சியின் திசையைக் காட்டவேண்டும். ஏதேனுமொரு திசையில் ஏற்படும் பெயர்ச்சியை உடன்பாடாகக்கொண்டால் அதற்கு எதிர்த் திசையில் ஏற்படும் பெயர்ச்சியை எதிர்மறையாகக் கூறலாம். அதாவது முன்னதற்கு மிகைக் குறியிட்டால் பின்னதற்குக் குறைக்குறியிடலாம். இடவே ஒன்றுக்கொன்று நேர் எதிர்த்திசையிலேற்படும் பெயர்ச்சிகள் ஒன்றுக்கொன்று எதிரான குறிகளைக் கொண்டனவாகும்.

பெயர்ச்சிகளைத் தொகுத்தல் (Composition), வகுத்தல் (Resolution), அவற்றின் பயனிலை (Resultant), பிரிநிலை (Component) என்னும் பதங்களின் விளக்கம்: ஒரே பொருள் இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட பெயர்ச்சிகளுக்கு உட்படலாம். இந்தப் பல வேறு பெயர்ச்சிகளின் விளைவையொத்த விளைவை உண்

டாக்கக்கூடிய ஒரே ஒரு பெயர்ச்சிக்கு, அவற்றின் பயனிலை (Resultant) என்று பெயர். இந்தப் பலவேறு பெயர்ச்சிகள் அதன் பிரிநிலைகள் எனப்படும். இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட பல பெயர்ச்சிகளின் பயனிலையைக் காண்பதாகிய செயலுக்குத் தொகுத்தல் என்று பெயர். ஒரு பெயர்ச்சியின் பலவேறு பிரிநிலைகளைக் காணும் செயலுக்கு வகுத்தல் என்று பெயர்.

தொகுப்பில் சில சிறப்பு வகைகள்:—(1) பிரிநிலைப் பெயர்ச்சிகள் ஒரே நேர் கோட்டிலிருத்தல்: (படம் 15 (1))

இவ்வாறுள்ள இரண்டு பெயர்ச்சிகளைக் கொண்டு விசாரிப்போம். முதல் பெயர்ச்சியைக்குறிக்க அ ஆ என்ற நேர் கோட்டை வரைக. இரண்டாவது பெயர்ச்சியைக் குறிக்க ஆ இ என்ற நேர் கோட்டை வரைக.

இவ்விரண்டு பெயர்ச்சிகளும் ஒரே நேர் கோட்டில் இருப்பதால் அஆஇ ஒரு நேர் கோடாகும். ஆகையால் அஆ-வும் ஆஇ-யும் ஒரே போக்கில் (same sense) இருப்பின் அஇ = அஆ + ஆஇ ஆகும்.

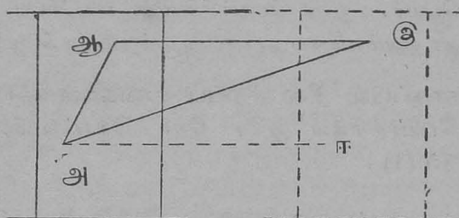
படம் 15 (1)

அஆ-வும் ஆஇ-யும் எதிர்ப்போக்கில் இருப்பின் அஇ = அஆ − ஆஇ ஆகும். (படம் 15 (2)) இவ்விரண்டிலும் அஇ என்பது அஆ, ஆஇ-க்களின் குறியியல் (Algebraical) கூட்டுத் தொகையேயாகும். எனவே ஒரே திசையில் உள்ள பெயர்ச்சிகளைத்தொகுத்தால் அவற்றின் பயனிலை, அப் பெயர்ச்சிகளின் குறியியல் கூட்டுத் தொகையேயாகும்.

படம் 15 (2)

(2) பிரிநிலைப் பெயர்ச்சிகளின் திசை மாறுபட்டிருத்தல் :—

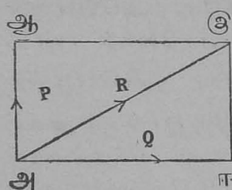
இதை ஒரு எளிய உதாரணத்தால் விளக்கலாம். ரயில் வண்டியிலுள்ள ஒரு மனிதன், வண்டியின் ஒரு




படம் 16 (1)

புறத்திலுள்ள அ-விலிருந்து வண்டியின் குறுக்கே நடந்துசென்று மற்றொரு புறத்திலுள்ள ஆ-வை அடைவதாகக் கொள்வோம். (படம் 16 (1)). வண்டி ஓடாதிருந்தால் அவனுடைய பெயர்ச்சி அஆ என்பது வெளிப்படை. ஆனால் வண்டியோடுவதாகவும், அம்மனிதன் அ-விலிருந்து ஆ-வுக்குச் செல்லுவதற்குள் வண்டி அஈ என்ற தூரம் முன்னேக்கி நகருவதாகவும் கொள்வோம். ஆகையால் மனிதன் அ-விலிருந்து ஆ-வை அடைய, அதற்குள்ளாக ஆ, அஈ-அளவு தூரம் முன்னேறிச் சென்று இ-யை அடைகிறது. ஆகையால் அம்மனிதன் உண்மையாக இப்பொழுது இ-யில் இருக்கிறன். எனவே அவனது அஆ என்னும் பெயர்ச்சியும், வண்டியினது அஈ என்ற பெயர்ச்சியும் கூடி, அஇ என்னும் பெர்ச்சிக்குச் சமமாகின்றன. ஆகையால் அஆ, அஈ என்னும் பெயர்ச்சிகளின் பயனிலை அஇ-யாகும். இதில் அஈ, ஆஇ என்பன ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவும், சமமாகவும் இருக்கின்றன. ஆகையால் அஆஇஈ ஒரு இணை கரம் (Parallelogram) ஆகும். இம்முடி

விலிருந்து ஒரு பொது விதியைக் காணலாம். ஒரு துகளின் நிலையிலே P, Q என்னும் இரண்டு பெயர்ச்சிகள் ஏற்பட்டு, அவற்றை முறையே அஆ, அஈ என்னும் நேர் கோடுகள் அளவிலும் திசையிலும் குறிப்பிட்டால், அவற்றின் பயனிலைப் பெயர்ச்சியை அஆஇஈ என்னும் இணைகரத்திலேயுள்ள அஇ என்னும் மூலைவரை (Diagonal) அளவிலும் திசையிலும் குறிக்கும். இதையே 'பெயர்ச்சி இணைகரம்' என்று கூறுவார்கள். P,Q என்னும் பெயர்ச்சிகள் ஒன்றிற்கொன்று செங்குத்தாக (Perpendicular) இருந்தால், இவ்விணைகரம் ஒரு நேரகமாகும் (படம் 16 (2)). அதனால் அதன் மூலைவரையாகிய அஇ (பயனிலை) $R = \sqrt{P^2 + Q^2}$ ஆகும்.



படம் 16 (2)

கதி (Velocity) :—ஒரு பொருள் அல்லது துகள் தனது நிலையை மாற்றிக்கொண்டே இருந்தால், அதன் நிலைமாறும் விகிதத்திற்கே வேகம் (speed) என்று பெயர். ஒரு பொருளின் பெயர்ச்சி s செ. மீ. ஆகவும், அதற்கான நேரம் $t$ செ. ஆகவும் இருந்தால், அதன் பொதுமை வேகம் $\frac{s}{t}$ சென்டிமீடர்கள் ஒரு செகண்டிற்கு ஆகும். மெட்ரிக் திட்டத்தில் வேகத்தின் அலகு ஒரு செகண்டிற்கு ஒரு செ. மீ. ஆகும். பிரிட்டிஷ் திட்டத்தில் ஒரு செகண்டிற்கு ஒரு அடியாகும். ஒரு கதியைக் கூறவேண்டுமானால் அதன் அளவைக் குறிப்பதோடு அது நிகழும் திசையையும் உடன் குறிக்கவேண்டும். ஒரு பொருள் ஒரே திசையிலே சென்றுகொண்டிருக்க, அது சமமான நேரங்களில் சமமான தூரங்களைக் கடந்து சென்றால், இந்நேரம் எவ்வளவு குறுகி இருப்பினும், அதன் கதி சீராக இருப்பதாகக் கூறப்

படும். கடந்து சென்ற தூரமாகிய s-யை அதற்கான நேரமாகிய t-யால் வகுத்து சீரான கதி அளவிடப்படும். கதி சீராய் இருப்பின் t எவ்வளவினதாய் இருப்பினும் பாதகமில்லை. ஒரு வண்டி, மணிக்கு 30 மைல் வீதம் ஓடுகிறதென்றால், அது ஒரு மணி நேரமுழுதும் ஓட வேண்டுமென்பதில்லை. வண்டி அதே கதியில் ஓடியிருந்தால் அது ஒரு மணி நேரத்தில் 30 மைல்களைக் கடந்துபோயிருக்கும் என்பதே இதன் பொருள். கதி சீராக இல்லாதபோது, ஒரு நொடியில் அதன் கதியைக் காணவேண்டுமானால், அந்நொடியை உட்கொண்ட t என்னும் மிகக் குறுகிய நேரத்திலே, அப்பொருள் கடந்து செல்லுகின்ற s என்னும் தூரத்தைக் கண்டு, $\frac{s}{t}$-யைக் கணக்கிட்டு, அவ்வெண்ணை அந்நொடியில் அதன் கதி என்று கூறவேண்டும். ஒரு இயங்கும் துகள் தனது சுவட்டை (Path) உண்டாக்கும் விகிதத்தைத் திசையைப்பற்றிக் கூறாமல் குறிப்பிடவேண்டுமானால், அதை அத்துகளின் வேகம் (Speed) என்று கூறுவது வழக்கம். உதாரணமாக ஒரு பொருள் ஒரு வட்டத்தின் பரிதி (Circumference) மீது சமமான நேரங்களில் சமமான வட்டத் துண்டுகளைக் (arc) கடந்து செல்லுமாயின், கடியாரத்தின் நிமிஷ முள்ளின் முனையைப்போல, இப்பொருள் சீரான வேகத்தைக் கொண்டிருப்பதாகக் கூறப்படும். ஆனால் அதன் கதி சீராக இல்லாமல் மாறிக்கொண்டே இருக்கிறது. இக்கதி எப்போதும் வட்டத்தின் தோடுவரை (tangent) யின் திசையிலே இருக்கும். ஒரு வட்டத்தில் சுற்றி வரும்போது தொடுவரையின் திசை மாறாமல் இருக்கமுடியாது என்பது வெளிப்படை. ஒரு பொருள் சீரான வேகத்தோடு ஒரு நேர் கோட்டிலே சென்றால் அதன் கதியும் சீரானதாய் இருக்கும். பெயர்ச்சி, கதி இவை போன்று அளவையேயன்றி திசையையும் கொண்ட இராசிகள் திசை

யுற்ற இராசிகள் (Vectors) எனப்படும். நாம் இனிக் காணப்போகும் முடுக்கம் (Acceleration), சக்தியாகிய இராசிகளும் திசையுற்ற இராசிகளே ஆகும். திசையுட்கொள்ளாத இராசிகள் திசையற்ற இராசிகள் (Scalar quantities) எனப்படும். வேகம், நிறை, பருமை, ஆற்றல், சூடு இவையெல்லாம் திசையற்ற (Scalars) இராசிகளாகும்.

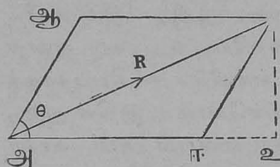
கதிகளைத் தொகுத்தல்:—கதி என்பது ஒரு அலகு நேரத்திலேற்படும் பெயர்ச்சியேயாதலால் பெயர்ச்சியைப் போன்று கதியையும் ஒரு நேர் கோட்டினால் முற்றிலும் குறிப்பிட்டு விடலாம். ஒரு பொருள் கிழக்குத் திசையை நோக்கி, செகண்டுக்கு 10 அடி கதியைக் கொண்டிருக்குமானால், நாமும் அதே திசையை நோக்கும்படி தக்க பரிமாணத்திலே (Scale) அந்த கதியின் அளவுக்கு ஏற்ப நீளமுள்ள ஒரு நேர் கோட்டை வரைந்து, அதனால் அக்கதியை முற்றிலும் குறிப்பிட்டு விடலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட திசையை நோக்கும் கதிக்கு மிகைக்குறியிட்டால் அதன் எதிர்த்திசையை நோக்கிய கதிகளுக்கெல்லாம் குறைக்குறி யிடவேண்டும். நாம் ஒரே துகளின் மீது இரண்டு அல்லது மேற்பட்ட கதிகளை ஏற்றலாம். இவ்வாறான பல வேறு கதிகளை மேற்கொண்ட ஒருதுகள் இயங்கும் கதியை, அப் பல வேறு கதிகளின் பயனிலை என்று கூறுவார்கள். அதாவது பல வேறு கதிகள் ஏக காலத்தில் தொழிற்படுவதால் ஏற்படக்கூடிய விளைவைத் தனியே விளைவிக்கக்கூடிய ஒரு கதி, மேற் கூறிய பலவேறு கதிகளின் பயனிலை என்று கூறப்படும். ஒரே நேர் கோட்டிலுள்ள $u$, $v$ என்னு மிரண்டு கதிகளை ஒரு துகளின்மீது ஒரே காலத்தில் ஏற்றுவோம். இதிலே ஒவ்வொரு செகண்டிலும் அத்துகள் ஒரே நேர் கோட்டிலே ஒரே திசையிலே $u$, $v$ என்னும் இரண்டு பெயர்ச்சிகளுக்குட் படு

கிறது. ஆகையால் பயனிலைப் பெயர்ச்சி ஒரு செகண்டிற்கு $(v+u)$ அலகுகள் ஆகும். அதாவது பயனிலை கதி செகண்டிற்கு $(u+v)$ ஆகிறது. இப்போது இவ்விரண்டு கதிகளும் எதிர்த்திசைகளில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். $u$ மிகை எனவும் $v$ குறையென்றும், $u$ யை விட $v$ பெரிதென்றும் கொண்டால், ஒவ்வொரு செகண்டிலும் மிகைத் திசையில் $u$ அலகுப் பெயர்ச்சியும் குறைத் திசையில் $v$ அலகுப் பெயர்ச்சியும் ஏற்படும். ஆகையால் ஒரு செகண்டிலேற்படும் பயனிலைப் பெயர்ச்சி $u+(-v)$ அலகுகள் ஆகும். இது ஒரு குறை இராசியாகும். இதன் எண்மானம் $(v-u)$ ஆகும். எனவே அத்துகள் பெரிய கதியின் திசையிலேயே இயங்குகிறது என்பது வெளிப்படை. இப்படியே ஒரே நேர் கோட்டில் தொழிற்படும் கதிகளின் பயனிலையானது, அக்கதிகளின் குறியியல் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். இப்படியே $u$, $v$ என்னும் கதிகள் வெவ்வேறு திசைகளிலே ஒருதுகளின் மீது தொழிற்படுவதாகக் கொண்டால், இக்கதிகளை அளவிலும் திசையிலும்முற்றிலும் குறிக்கக்கூடிய அஆ, அஈ என்னும் நேர்கோடுகளை அண்டைச்சிறை (Adjacent) களாகக்கொண்ட இணைகரத்திலே (படம் 17), அ-வின் வழியாகச் செல்லும் அஇ என்னும் மூலைவரையானது, இக்கதிகளின் பயனிலையைக் குறிக்கும். இதையே கதிகளின் இணைகரம் என்று கூறுவார்கள். $u$, $v$ ஆகிய இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குறுக்காக இருந்தால் அவற்றின் பயனிலை $\sqrt{u^2+v^2}$ க்குச் சமமாகும்.

ஒன்றோடொன்று சாய்ந்துள்ள இரண்டு கதிகளின் பயனிலைக்கு ஒரு வாய்பாடு (formula) காணல் :— (படம் 17)

$u$, $v$ என்பன அ என்ற துகளின் மீது தொழிற்படும் இரண்டு கதிக்ள் என்றும், $\theta$ அவற்றினிடைப்

பட்ட கோணமென்றும் கொள்வோம். இவற்றை முறையே அஆ, அஈ என்னும் நேர்கோடுகளினுல் முற்றிலும் குறிப்பிடவும்.




படம் 17

அஆ இஈ என்னும் இணைகரத்தைப் பூர்த்தி செய்யவும். இதில் அஇ என்பது பயனிலையைக் குறிக்கும். இ-யிலிருந்து இஉ என்னும் நிமிர்வரையை (perpendicular) அஈ-யின்மீது குறிக்கவும். அஇஉ என்ற முக்கோணத்திலே உ என்பது செங்கோண (right angle) மாகையால்,

$$அஇ^2 = அஉ^2 + உஇ^2 = \{ (அஈ + ஈஉ)^2 + உஇ^2 \}$$
$$= (v + ஈஉ)^2 + உஇ^2$$

$$= v^2 + ஈஉ^2 + 2\, v.\, ஈஉ + உஇ^2$$
$$= v^2 + u^2 + 2\, v.\, ஈஉ$$

ஏனெனில் $ஈஉ^2 + உஇ^2 = u^2$

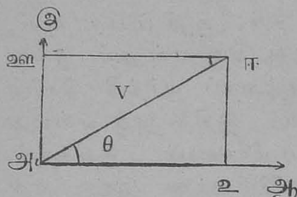
மற்றும் $\angle$ இஈஉ = அநுரூப (Corresponding) $\angle$ ஆஅஈ $= \theta$ ஆகையால் ஈஉ = இஈ $\cos \theta$

இதை மேற்கண்ட இணைவிலே ஈடு (Substituting) செய்ய, $அஇ^2 = u^2 + v^2 + 2\, uv \cos \theta$ ஆகும்.

ஒரு கதியின் பிரிநிலைகளை, ஒன்றுக்கொன்று செங்குறுக்கான ஏதேனுமிரண்டு திசைகளில் காணல் :—(படம் 18)

அஈ என்பதே நாம் பிரிக்கவேண்டிய கதி என்றும், அஆ, அஇ என்பன பிரிநிலைகளைக் காணவேண்டிய திசைகள் என்றும், அவை ஒன்றுக்கொன்று செங்

குறுக்காக இருக்கின்றன என்றும் கொள்வோம். ஈ-யிலிருந்து அஆ, அஇ-க்களுக்கு இணையான இரண்டு வரைகளை வரையவும். அவை அஆ, அஇ-க்களை முறையே உ, ஊ என்ற இடங்களில் சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். இதில் அஉ, அஊ என்பன நாம் காண வேண்டிய பிரிநிலைகளாகும். அஈ - க்கும் அஆ - வுக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் $\theta$ ஆனால், இப்பிரிநிலைகளின் அளவைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாகும்.




படம் 18

முக்கோணம் அஈஉ-ல் உ என்பது செங்கோணமாகையால் $\frac{அஉ}{அஈ} = \cos\theta$

$\therefore$ அஉ = அஈ $\cos\theta$ ; மறுபடியும் $\frac{ஈஉ}{ஈஅ} = \sin\theta$

ஆனால் ஈஉ = அஊ

$\therefore \frac{அஊ}{அஈ} = \sin\theta$ அல்லது அஊ = ஈஅ $\sin\theta$

எனவே V என்ற கதியோடு $\theta$ என்னும் கோணமுண்டாக்கும் திசையில் அதன் பிரிநிலை $V\cos\theta$ ஆகும்; மற்றொரு பிரிநிலை $V\sin\theta$ ஆகும்.

உருவக முறையினால் (Graphical method) இயக்கத்தை ஆராய்தல் :—ஒரு பொருள் சீராக இயங்கினாலும் சரி, அல்லது மாறுகின்ற கதியோடு இயங்கினாலும் சரி, குறிப்பிட்ட நொடிகளில் அதன் பெயர்ச்சிகளைக்கொண்டு, அவற்றை ஒரு உருவகத்திலே (Graph) நேரத்தை ஒரு ஆயமாகவும் (Co-ordinate), பெயர்ச்

சியை ஒரு ஆயமாகவும் கொண்டு குறிப்பிடலாம். இவ்வாறு வரைந்த உருவகத்தை, கால-இடப்படம் என்று கூறுவார்கள். இதைப்போலவே சில குறிப்பிட்ட நொடிகளில் ஒரு துகளின் கதிகளைக் கண்டு அவற்றையும் உருவகப்படுத்தலாம். இவ்வாறு வரைந்த உருவகத்தை கால-கதிப்படம் என்று கூறுவார்கள். இதையே கதி-வரை என்று கூறுதலும் உண்டு. ஒரு பொருளின் இயக்கத்தை ஆராய்வதற்கு இப்படங்கள் பெரிதும் பயன்படும்.

(*a*) கால - இடப் படம் (Space - time Diagram):—ஒரு துகள் அசையாத நிலையிலிருந்து கிளம்பி சீரான கதியோடு சென்றால், அது சமமான கால இடைகளில் (Time intervals), இக்கால இடை எவ்வளவு சிறியதாயினும், சமமான தூரங்களைக் கடந்துசெல்லும். ஆகையால் இத்துகளின் பெயர்ச்சி, நேரத்திற்கு ஏற்ப நேராக (Directly proportional) இருக்கும். இதனால் கால இடப் படம் ஒரு நேர் கோடாக இருக்கும். மற்றும், இந்நேர்கோடு தோற்றுவாய் (Origin) வழியாகச் செல்வதோடு, ஆய இருசு (Co-ordinate axes) களுக்கிடையே சாய்ந்திருக்கும். கதி மாறியலாக (Variable) இருப்பின், இவ்வுருவகம் ஒரு வளைந்த வரையாக இருக்கும். படத்தில் கண்டபடி இவ்வரை அஈ என்னும் (படம் 19) வடிவினதாய் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இதில் அஆ ஆயத்தில் நேரமும் அஇ ஆயத்தில் பெயர்ச்சியும் குறிப்பிடப்பட்டிருக்கின்றன. இவ்வுருவகத்தைக்கொண்டு, க என்று குறித்த நொடியிலே கதியைக் காணவேண்டும். க-வுக்குச் சற்று முன்னே நி என்ற நொடியையும், க-வுக்குப் பிறகு ம என்ற நொடியையும் குறித்துக்கொள்ளவும். கால-ஆயத்திற்கு நி, க, ம என்னும் இடங்களிலே செங்குறுக்கு வரைகள் இடவும். இவை உருவ

கத்தை முறையே ஸ, உ, த என்னுமிடங்களிலே சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். நி என்னும் நொடியில்,

இடம் (Space)

காலம் (Time)

படம் 19

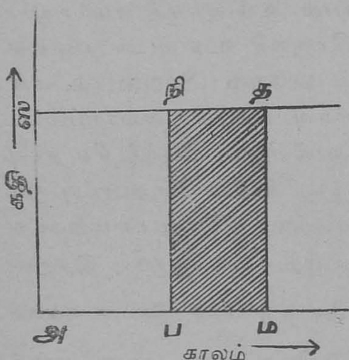
பெயர்ச்சி நிஸ ஆகும். ம என்னும் நொடியில், அது மத ஆகும். ஆகையால் நிம என்னும் இடைக் காலத்தில் அத்துகள் கடந்து சென்ற தூரம், நிஸ-வுக்கும் மத-வுக்கும் உள்ள வேற்றுமையாகும். ஸ-விலிருந்து மத-வுக்கு ஸப என்னும் செங்குறுக்கு வரையைப் போடவும். இப்போது ஸப = நிம. நிம என்னும் இடைக்காலத்தில் பொதுமை கதி, $\frac{\text{தப}}{\text{நிம}}$ ஆகும். இது

$\frac{\text{தப}}{\text{ஸப}}$-க்குச் சமம். தஸ என்னும் புள்ளிகளைச் சேர்த்து அதை நீட்டி அஆ இருசை ஊ-வில் வெட்டச் செய்யவும். இப்போது $\frac{\text{தப}}{\text{ஸப}} = \frac{\text{தம}}{\text{ஊம}} = \frac{\text{ஸநி}}{\text{நிஊ}}$.

நிம மிகச் சிறியதாய்விட்டால் இவ்விடைக்காலத்துப் பொதுமை கதியே, அவ்விடைக்காலத்துக்குட்பட்ட க என்ற நொடிக்கு உரிய கதியும் ஆகும். ஆகையால் நி-யும், ம-வும் க-வுக்கு மிக நெருங்கி வரும்படி செய்தால் ஸநி, தம என்பன உக-வுக்குச் சமமாகும். கடைசியாக இவை மிக நெருங்கி உக-வுடன் படிந்து விட்டால், தஸ என்னும் ஊடுருவி (Secant) உ என்னும் புள்ளியிலே இவ்வளவு வரைக்கு வரையப்பட்ட தொடுவரை (Tangent) யாகிவிடும். மேற்கூறிய தகவுகளின் சமத்தன்மை நிம-க்களின் நிலை வேறுபாட்டினால் மாறிவிடாது. முடிவிலே, நிம அனேகமாக மறைந்து போகும் நிலையிலே, தம = ஸநி = உக ஆகும். இதனால் $\frac{\text{ஸநி}}{\text{நிஊ}} = \frac{\text{உக}}{\text{கஊ}}$ ஆகும். எனவே ஒரு கால இட உருவகத்தில் க என்னும் நொடியில் வேகத்தைக் காணவேண்டுமானால், அப்புள்ளியிலிருந்து அஆ இருசுக்கு ஒரு செங்குறுக்கு வரையை இழுத்து, அவ்வரை உருவகத்தைச் சந்திக்குமிடமாகிய உ என்னும் புள்ளியிலே அக்கோட்டிற்கு ஒரு தொடுவரை வரையவும். இத்தொடுவரை அஆ இருசை ஊ என்னுமிடத்திலே வெட்டினால் $\frac{\text{உக}}{\text{கஊ}}$ என்னும் தகவே க என்னும் நொடியிலுள்ள கதி என்று அறியலாம். உக, கஊ-க்களை பரிமாணத்தின்படி அளந்து கதியைப் பெயர்ச்சி அலகிலும் நேர அலகிலும் சேர்த்துக் கூறவேண்டும்.

கதிவரை (Velocity Curve):— சீரான கதியோடு இயங்கும் ஒருபொருளின் கதிவரை கால இருசுக்கு இணையான ஒரு நேர் கோடு என்பது வெளிப்படை. ஏனென்றால், இதில் கதி மாறாதிருப்பதால் இவ்வரையின் மீதுள்ள எப்புள்ளியிலும் அதன் நிலுவை ஆயம் (ordinate) ஒரே அளவினதாய் இருக்கும்.

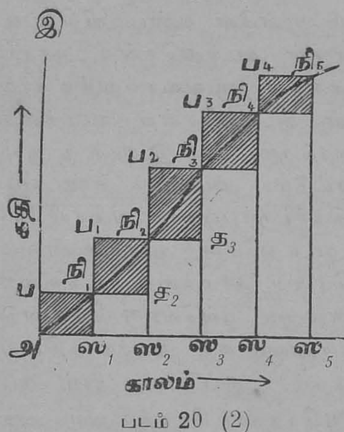
இப்படிப்பட்ட ஒரு வரையை எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 20 (1)). அதற்குரியபொருளின் கதி $v$ என்று கொள்வோம். ப, ம என்னுமிரண்டு நொடிகளைக் கால இருசின் மீது எடுத்துக்கொண்டு, இவ்விரண்டு நொடிகளுக்கிடைப்பட்ட நேரத்தை t என்று குறிக்கும். ப, ம என்னும் புள்ளிகளிலிருந்து அஆ-இருசுக்கு பநி, மத என்னும் இரண்டு செங்குறுக்கு வரைகளை



படம் 20 (1)

வரைவோம். இவை கதி வரையை முறையே நி, த என்னுமிடங்களில் சந்தித்தால் பநிதம என்னும் உருவத்தின் பரப்பு பம×பநி ஆகும். ஆனால் பம $= t$ ; பநி $= v$. ஆகையால் இப்பரப்பு $= vt$ ஆகும். $vt$ என்பது இவ்விடை நேரத்தில் அப்பொருள் கடந்து சென்ற தூரம் என்பதை நாமறிவோம். எனவே கீற்றுகள் (stripes) இடப்பட்ட இப்பரப்பு, இடை நேரத்தில் பொருள் கடந்து சென்ற தூரத்தைக் காட்டுகிறது என்று கூறலாம். இது தூரத்தைக் காட்டுமென்று

கூறலாமேயொழிய, இப்பரப்பே கடந்துசென்ற தூரத்திற்குச் சமம் என்று கூறுதல் தகாது. எப்போதும் பரப்பளவினால் நீட்டலளவையைக் காட்ட முடியாது என்பது வெளிப்படை. நாம் சொல்லுவதெல்லாம் பநிதம என்னும் கட்டத்தினுள் எத்தனை பரப்பலகுகள் அடங்கி இருக்கின்றனவோ, அத்தனை நீள அலகுகளே கடந்து செல்லப்பட்ட தூரத்திலும் அடங்கியுள்ளன என்பதேயாம். இதையே, 'அவ்வுருவத்தின் பரப்பு கடந்து சென்ற தூரத்திற்கு எண்மானத்தில் சமம்' என்றும் எடுத்துக் கூறலாம். கதி சீரானதாய் இல்லாவிட்டால் கதிவரை கால இருசுக்கு இணையாக இராது. இப்போது வெவ்வேறு நொடிகளில் கதி வேறு படுவதால், இவ்வரையின் நிலைவை ஆயங்களும் மாறுபடும். (படம் 20 (2)). படத்தில் கண்ட அநி$_1$நி$_2$நி$_3$...... என்பது ஒரு பொருளின் கதிவரை என்று கொள்வோம். ஸ$_1$, ஸ$_2$, ஸ$_3$ ........ என்பன முறையே புறப்பட்ட நொடியிலிருந்து 1, 2, 3........ செகண்டுகளைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். எனவே ஸ$_1$நி$_1$, ஸ$_2$நி$_2$......என்பன முறையே 1, 2 ...... செகண்டுகளின் இறுதியிலே அப்பொருள் கொண்டுள்ள கதிகளைக் குறிக்கும்.




படம் 20 (2)

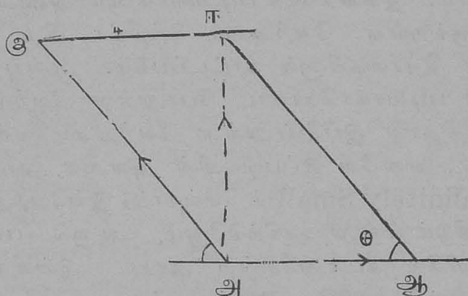
இப்போது, நாம் இப்பொருளின் கதி தொடர்ந்து மாறுதலடையாமல், ஒவ்வொரு செகண்டு நேரத்திலும்

அதன் கதி சீராக அச்செகண்டு ஆரம்பித்த போதிருந்த அளவிலேயே இருப்பதாகவும், ஒவ்வொரு செகண்டின் இறுதியிலும் அதன் கதி சட்டென்று உயர்ந்து, அடுத்த செகண்டின் துவக்கத்திலே இருக்க வேண்டிய அளவை அடைந்து விடுவதாகவும் வைத்துக் கொள்வோம். இப்போது கதிவரைப்படத்தில் கண்டபடி அஸ$_1$நி$_1$த$_2$நி$_2$த$_3$நி$_3$...என்ற படிப்படியான வரையாக இருக்கும். ஒவ்வொரு செகண்டு நேரத்திலும் கதி சீராய் இருப்பதால் நாம் முன்னே கண்ட விதிப்படி அவ்வப்போது அப்பொருள் கடந்துசென்ற தூரங்களைக் கணக்கிடலாம். எனவே ஒரு வரையறுத்த கால இடையிலே அப்பொருள் கடந்துசென்ற தூரத்தை இப் படிப்படியான வரைக்கும், கால இருசுக்கும் இடைப்பட்ட பரப்பே காட்டும். படத்தில் கண்டபடி நேரத்தோடு கதியும் அதிகரிக்கும்படியான வரையிலே, இவ்வாறு படிப்படியாய்க்கடந்துசென்ற தூரம் உண்மையாகப் பொருள் கடந்துசென்ற தூரத்தை விடக்குறைவாய் இருக்கும். ஏனென்றால் ஒவ்வொரு செகண்டு நேரத்திலும், அதன் பொதுமை கதி துவக்க கதியை விடப் பெரிதாகவே இருக்கும். இப்போது நாம் அப்பொருளானது ஒவ்வொரு செகண்டு நேரத்திலும், அச் செகண்டு முடியும் நொடியில் இருக்கும் கதியையே கொண்டிருந்ததாகக்கொண்டு கதிவரையை வரைவோம். இது பநி$_1$ப$_1$நி$_2$ப$_2$......என்ற வரையைப் போன்று இருக்கும். இப்போது கடந்துசென்ற தூரமும் இப்படிப்படியானவரைக்கும் கால அஆ—இருசுக்கும் இடைப்பட்ட பரப்பினுல் காட்டப்படும். இத் தூரம் பொருள் உண்மையிலே கடந்துசென்ற தூரத்தைவிட அதிகமானது என்பது வெளிப்படை. இவ்விரண்டு வரை இயக்கங்களிலும் கடந்து செல்லப் பட்ட தூரங்களின் வேற்றுமை, கீற்றிட்ட சிறு நேர

கங்களினுல் காட்டப்படும். இப்போது நாம் முன்பு எடுத்துக்கொண்ட இடை நேரத்திலே பாதி இடை நேரத்தை, அதாவது அரைச் செகண்டை, ஒரு படியாகக்கொண்டு இவ்வாறே இரண்டு படிவரைகளையும் வரைவோம். இவ்விரண்டு படிவரைகளும் அடைக்கும் பரப்புகளுக்குள்ள வேற்றுமை ஏற்றிட்ட சிறு நேரகங்களின் தொகையினுல் காட்டப்படும். முன்பு ஒரு செகண்டு படியாகக்கொண்ட போதுள்ள வேற்றுமையிலே பாதிதான் இப்போதுள்ள வேற்றுமையென்பது விளங்கும். எனவே இப்படிகளின் அளவை அறச்சிறிதாக (Infinitely Small)ச் செய்தால், இவ்வேற்றுமை ஒழிந்துவிடும் என்று ஊகிக்கிறோம். ஆனுல் பொருள் உண்மையிலே கடந்துசென்ற தூரம் இவ்விரண்டு தூரங்களுக்கிடையிலே இருப்பதால், முடிவிலே இப்படிகளின் எண்ணிக்கை வரம்பில்லாமல் அதிகரிக்கவே, இம் மூன்று வரைகளும் ஒன்றுபட்டு, இவ்வரைக்கும் கால இருசுக்கும் இடைப்பட்ட பரப்பே, பொருள் உண்மையிலே கடந்துசென்ற தூரத்தைக் காட்டும் என்பது விளங்கும். ஒருகால இடையிலே பொருள் கடந்துசென்ற தூரத்தைக் காணும்போது இப்பரப்பு இருபுறங்களிலும் நாம் எடுத்துக்கொண்ட இடைக் காலத்தின் துவக்க நொடிக்குரிய நிலைவை ஆயத்தாலும், முடிவு நொடிக்குரிய நிலைவை ஆயத்தாலும் எல்லையிடப்பட்டிருக்கும்.

உதாரணம் 1:—ஒரு படகு நிலையான தண்ணீரிலே மணிக்கு 5-மைல் வீதம் செல்லக்கூடும். இது மணிக்கு 4-மைல் கதியோடு ஓடும் ஒரு ஆற்றின் குறுக்கே செல்லுகிறது. நேருக்கு நேரே சென்று எதிர் கரையை அது அடைய வேண்டுமானுல் அதன் முகம் எத்திசையை நோக்கி நிற்கவேண்டுமென்று காண்க.

அஆ-என்பது நீரோட்டத்தின் திசையென்றும், அஇ-என்பது படகு செல்ல முயலும் திசையென்றும், அஈ-என்பது படகு உண்மையில் செல்லும் திசையென்றும் கொள்வோம். (படம் 21).




படம் 21

கணக்கிலே கொடுத்தபடி அஆ-வுக்கு அஈ-லம்பமாகவேண்டும்.

அஆ = 4 அலகு, அஇ = 5 அலகு ஆகச் செய்து, அஆஈஇ-என்ற இணைகரத்தை முற்றுவித்திருப்பதாகக்கொள்வோம்.

அஆஈ என்ற கோணத்தின் அளவு $\theta$ என்று கொள்வோம.

இதில் அஇ = ஆஈ. எனவே ஆஈ = 5 அலகு.

ஆஅஈ என்பது நேர் கோண முக்கோணம்.

அதில் ஆஈ = 5, அஆ = 4.

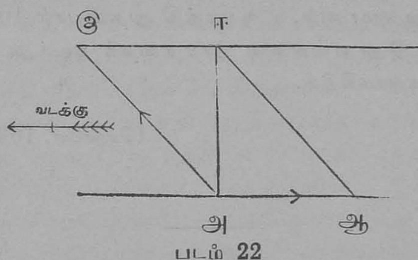
எனவே $\cos\theta = \frac{4}{5}$ $\therefore \theta = \cos^{-1}(\frac{4}{5})$

அல்லது $\theta = 36^\circ\ 52'$ ஆகும்.

எனவே படகின் முனை நீரோட்டத்தின் திசையோடு $143^\circ\ 8'$ கொண்ட கோணத்தின் அளவு சாய்ந்து நிற்க வேண்டும்.

(2) ஒரு மைல் அகலமுள்ளதொரு ஆறு, வடக்கிலிருந்து தெற்கு நோக்கி மணிக்கு மூன்று மைல் வீதம் ஓடிக்கொண்டிக்கிறது. மணிக்கு 5-மைல் வீதம் செல்லக்கூடியதொரு மோட்டார் படகு இதை நேரே கிழக்கு மேற்காகக் கடந்து சென்றது. இதற்கு எவ்வளவு நேரம் ஆகி இருக்கும்.

அஆ என்பது ஆறு செல்லும் திசை என்றும், அஇ என்பது படகு செல்ல முயன்ற திசையென்றும், அஈ என்பது உண்மையில் படகு சென்ற திசையென்றும் கொள்வோம். (படம் 22)



படம் 22

கணக்கின்படி, அஆ-வுக்கு அஈ லம்பமானது. அஆஈஇ என்ற இணைகரத்தை முற்றுவிக்கவும். அஆ = 3 அலகும் அஇ = 5 அலகும் ஆனால், அஈ = 4 அலகு ஆகும். ஆகையால் அஇ-என்ற திசையிலே மணிக்கு 5-மைல் கதியுடன் செல்ல முயன்றபோது ஆற்றின் குறுக்கே படகு சென்ற கதி மணிக்கு 4 மைல்.

ஆற்றின் அகலமோ ஒரு மைல்; எனவே படகு ஆற்றைக் கடப்பதற்கு ஆன நேரம் $\frac{1}{4}$ மணி அல்லது 15 நிமிஷமாகும்.

## வினாக்கள்

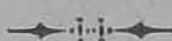
1. ஒரு டிராம் வண்டி மணிக்கு 6 மைல் வீதம் செல்லுகிறது. அதிலிருந்து ஒரு கல் செகண்டிற்கு 16 அடி கதியுடன் செல்லுமாறு எறியப்பட்டது. டிராம் வண்டிக்குச் செங்குறுக்காக செல்லவேண்டுமானால் அதற்கு எத்திசையிலே இதை எறியவேண்டும்?

2. துளங்கா நிலையிலிருந்து புறப்படும் ஒரு பொருளின் கதி 1, 2, 3, 4.........8 செகண்டுகளின் முடிவிலே முறையே 1, +, 9, 16.........64 செ. மீ செக. ஆகுமானால், உருவகத்தினுதவியால் 10 செகண்டுகளிலே இது எவ்வளவு தூரத்தைக் கடந்து செல்லுமென்று கணக்கிடுக.

(சென்னை, 1927 மார்ச்.)

---

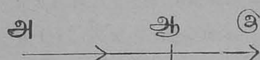
# அத்தியாயம் 3



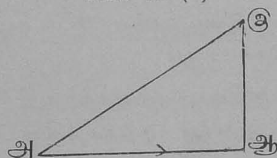
## முடுக்கம் (Acceleration)

கதிமாற்றம் :—கதி என்பது ஒரு திசையுற்ற இராசி. அதாவது அது அளவுடன் திசையையும் கொண்டது. ஆகையால் ஒரு துகளின் கதி அதன் அளவிலாவது, திசையிலாவது, அல்லது இரண்டிலு மாவது மாறுபடலாம்.

அஆ என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட நொடியிலே ஒரு துகளின் கதியைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். கதி சீரானதாய் இருப்பின், எப்போதும் அஆ இந்த கதி யைக் குறித்துக்கொண்டேயிருக்கும். பொருளியங் கும் திசையிலேயே கதி அதிகரிப்பதாகவும், சிறிது பொழுது ஆனபிறகு அஇ என்பது அத்துகளின் கதியைக் குறிப்பதாகவும் கொள்வோம். இந்த மாறு தல் அளவில்மட்டிலுமே ஏற்பட்டிருக்கிறது. ஆஇ என்பது கதிமாற்றமாகும். ஆதி கதியோடு இதைக் கூட்டத் தற்போதைய கதி கிடைக்கும். படம் 23(1).




படம் 23 (1)




படம் 23 (2)

இக்கதிமாற்றம் அளவிலே யன்றி திசையிலும் ஏற்பட் டால் அஆ-வும், அஇ-யும் ஒன்றுக்கொன்று சாய்வாய் இருக்கும். படம் 23 (2). ஆனல் இப்போதும் ஆஇ என்பதே கதிமாற்றமாகும். ஏனெனில் கதி இணைகர விதிப்படி அஇ கிடைக்க வேண்டுமானல், அஆ வோடு ஆஇ-யைத்தான் கூட்டவேண்டும். இப்படியாக இவ்விரண்டிலும் ஆஇ என்பதே கதிமாற்றமாகும்.

எனவே ஒரு துகளின் முன்னைய கதியையும் பின்னைய கதியையும் கண்டு, அவற்றை ஒரே புள்ளியிலிருந்து வரைந்த இரு நேர்கோடுகளால் குறித்தால், அவ்விரண்டு கோடுகளின் நுனிகளைச் சேர்க்கும் கோடு, அத்துகளில் ஏற்பட்ட கதிமாற்றத்தைக் குறிக்கும்.

முடுக்கம் :—ஒரு துகளின் கதி மாறிக்கொண்டிருந்தால், அத்துகள் முடுக்கம் கொண்டிருப்பதாகக் கூறப்படும்.

வரைவிலக்கணம் (Definition):—ஒரு பொருளின் முடுக்கம் என்பது அப்பொருளின் கதிமாற்றத்தின் விகிதமாகும். இம்முடுக்கம் சீரானதாயும் இருக்கலாம். சமமான கால விடைகளிலேற்படும் ஒரு பொருளின் கதிமாற்றங்கள், அக்காலவிடை எவ்வளவு சிறியதாயிருப்பினும் சமமாய் இருந்தால், அதன் முடுக்கம் சீரானதென்று கூறப்படும். ஆனால் சமமான கால விடைகளிலேற்படும் கதிமாற்றங்கள் சமமாய் இல்லாவிட்டால், முடுக்கம் மாறுவதாய்க் கூறப்படும். யாதானுமொரு நொடியிலே ஒரு பொருளின் முடுக்கமெனப்படுவது, அந்நொடியையுட்கொண்ட ஒரு அறச் சிறு காலவிடையிலேற்படும் கதிமாற்றத்தை அக்காலவிடையால் வகுக்க வருவதாகும். ஒரு பொருள் $u$ என்னும் கதியோடு கிளம்புவதாகவும், $t$ செகண்டுகளிலே அதன் கதி $v$-யாக மாறிவிடுவதாகவும் கொள்வோம். இவ்விரண்டு கதிகளின் வேற்றுமையைக் கால இடையாகிய $t$-யால் வகுக்க வருவது பொதுமை முடுக்கமாகும்.

ஒரு செகண்டில் ஏற்படும் கதிமாற்றத்தைக் கதி அலகுகளில் எடுத்துக் கூறினால் அதுவே முடுக்கத்தின் எண்மானமாகும். கதியை ஒரு செகண்டில் கடக்கப்படும் தூரம் என்று எடுத்துக் கூறுவது வழக்கம். எனவே ஒரு துகளின் முடுக்கம் $a$ என்று நாம் கூறும் பாது, ஒவ்வொரு செகண்டிலும் அத்துகளின் கதி,

செகண்டிற்கு ஒரு செ. மீடர் வீதம் அதிகரிப்பதாகப் பொருள்கொள்ளவேண்டும். ஆகையால் கதியை செகண்டிற்கு இத்தனை சென்டிமீடர் என்று கூறியது போல, முடுக்கத்தை ஒரு செகண்டிலே செகண்டிற்கு இத்தனை சென்டிமீடர் என்று எடுத்துக்கூறவேண்டும்.

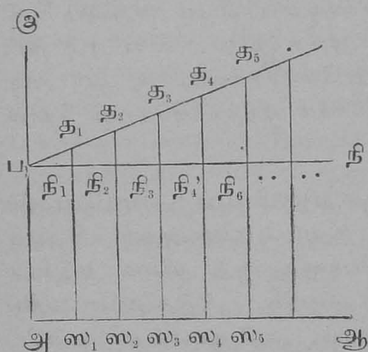
முடுக்க அலகுகள் :—ஒரு துகளின் கதி ஒரு செகண்டிலே ஒரு அலகு வீதம் மாறுபட்டால், அத் துகளின் முடுக்கம் ஒரு அலகு அளவுள்ளது என்று கூறப்படும். மெட்ரிக் திட்டத்தில், ஒரு செகண்டிலே செகண்டிற்கு ஒரு சென்டிமீடர்வீதம் ஏற்படும் கதி மாற்றமே, ஒரு முடுக்க அலகு ஆகும். பிரிட்டிஷ் திட்டத்தில், ஒரு செகண்டிலே செகண்டிற்கு ஒரு அடி வீதம் ஏற்படும் கதிமாற்றமே முடுக்க அலகாகக் கொள்ளப்படும்.

மிகைமுடுக்கமும் குறை முடுக்கமும் :—ஒரு பொருள் ஒரே நேர்கோட்டில் செல்லும்போது, அதன் கதி அதிகரித்துக்கொண்டே போனால் அது மிகை முடுக்கம் கொண்டது என்று கூறப்படும். (இதனையே கதிப் பெருக்கமென்றுங் கூறலாம்.) கதி குறைந்துகொண்டே வந்தால், அது குறை முடுக்கம் கொண்டது எனப்படும். குறை முடுக்கத்தை அருக்கம் (Retardation) என்றும் கூறுவது உண்டு.

சீரான முடுக்கம் கொண்ட ஒரு துகளின் கதியைக் காண :—ஒரு துகளின் துவக்க கதி $u$ என்றும், $t$ செகண்டுகளுக்குப் பிறகு அதன் கதி $v$ என்றும், அத் துகளின் சீரான முடுக்கம் $a$ என்றும் கொள்வோம். ஒரு செகண்டிலே அதன் கதி செகண்டிற்கு $a$ செ. மீ. அதிகரிக்கும். இரண்டு செகண்டுகளிலே அதன் கதி $2a$ செ. மீ. அதிகரிக்கும். இவ்வாறே மூன்று, நான்கு, ஐந்து செகண்டுகளிலே அதன் கதி முறையே $3a$, $4a$,

$5a$ அதிகரிக்கும். ஆகையால் $t$ செகண்டுகளில் அதன் கதி $at$ அதிகரிக்கும். துவக்க கதி $u$ ஆகையால், $t$ செகண்டுகளின் பின்னர் அதன் கதி $u+at$ ஆகும். இதுவே $v$ என்று கூறப்பட்டிருப்பதால் $v=u+at$ ஆகும். முடுக்கம் எதிர் மறையாய் இருந்திருப்பின் அதன் மதிப்பு $-a$ ஆகும். ஆகையால் அப்போது $v=u-at$ ஆகும்.

சீரான முடுக்கத்தோடு இயங்கும் ஒருதுகளின் கதி வரையைக் காண :—(படம் 24) நேரத்தைக் காட்ட அஆ என்ற படுகை வரையையும், கதியைக் காட்ட அஇ என்ற நிலைவை வரையையும் வரைந்து, தகுந்த பரிமாணத்தைக்கொண்டு ஆயங்களை வகுத்துக் கொள்ளவும். அஇ என்னும் கோட்டின் மீது துவக்க கதியாகிய $u$-வைக் குறிக்கும்படியாக அப என்னும் பகுதியைக் குறித்துக்கொள்ளவும்.

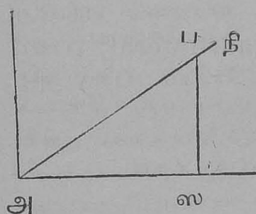


படம் 24

ப-விலிருந்து அஆ-வுக்கு இணையாக பநி-என்னும் ஒரு கோட்டை வரையவும். இதில் ப$நி_1$, $நி_1நி_2$, $நி_2நி_3$ ........என்னும் ஒரு செகண்டைக் குறிக்கும் சமமான பிரிவுகளைக் குறிப்பிடவும். இவற்றின் வழியாக $த_1ஸ_1$, $த_2ஸ_2$, $த_3ஸ_3$........என்னும் செங்குறுக்கு வரைகளை இழுக்கவும். இவை அஆ இருசை முறையே $ஸ_1$, $ஸ_2$, $ஸ_3$ என்னுமிடங்களில் சந்திப்பதாகக்கொள்வோம். $த_1நி_1=a$. $த_2நி_2=2a$. $த_3நி_3=3a$..... ஆகும்படியாக

$த_1$, $த_2$, $த_3$........க்களைக் குறிப்பிடவும். இவையெல்லாம் முறையே 1, 2, 3, செகண்டுகளுக்கிறுதியில், துகளின் கதியில் ஏற்பட்டிருக்கும் கதி அதிகரிப்புகளைக் காட்டும். $த_1ஸ_1$, $த_2ஸ_2$......என்பன முறையே 1, 2, 3, செகண்டுகளின் இறுதியில் துகளின் கதியைக் காட்டுவனவாகும். எனவே ப$த_1த_2$........என்னும் கோடே இத்துகளின் கதி-வரை ஆகும். இதன் அமைப்பு முறையிலிருந்து இது ஒரு நேர்கோடு என்பது தெளிவாகும்.

சீரான முடுக்கத்தோடு இயங்கும் ஒருதுகள் கடந்து செல்லும் தூரத்தைக் காண:—(1) துவக்க கதி சூனியமாய் இருத்தல்:—இத்துகளின் கதி-வரையானது தோற்றுவாய் வழியாகச் செல்லும் ஓர் நேர் கோடாகும். அநி என்பது அந்த கதிவரை என்று கொள்வோம். (படம் 25 (1)). இயங்கத் தொடங்கியபின் $t$ செகண்டுகளுக்குப் பிறகு கடந்து சென்ற தூரத்தைக் கணக்கிடுவோம். $t$-யைக் குறிக்கும் ஸ என்னும் புள்ளியைக் கண்டு, அதிலிருந்து அஆ-வுக்கு ஓர் செங்குறுக்கு வரையை இழுக்கவும். இது

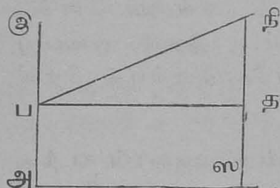


படம் 25 (1)

அநி-யை ப-வில் சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். கடந்து சென்ற தூரமானது, கதி-வரைக்கும் கால இருசுக்கும் இடையிலே, நேரத்தின் ஆதியந்த ஆயங்களுக்குட்பட்ட பரப்பினால் குறிக்கப்படும் என்று முன்னே கண்டோம். எனவே இத்துகள் கடந்துசென்ற தூரம் அஸப என்னும் பரப்பினால் குறிக்கப்படும். இப்பரப்பு $= \frac{1}{2}$ அஸ $\times$ ஸப. இதிலே அஸ $= t$. ஸப என்பது $t$ செகண்டுகளினிறுதியில் துகளின்கதி. இது முன்னே நாம் கண்டபடி $at$

ஆகும். ஆகையால் $\frac{1}{2}$ அஸ $\times$ ஸப $=\frac{1}{2}\ t\times at=\frac{1}{2}at^2$. எனவே இத்துகள் கடந்து சென்ற தூரம் $s=\frac{1}{2}\ at^2$ ஆகும்.

(2) *துவக்க கதி $u$ ஆனல்* :—இதில் கதிவரை படத்தில் (படம் 25 (2)) கண்டவாறு இருக்கும். அப என்பது துவக்க கதியாகிய $u$-வைக் குறிக்கும். பத என்பது அஆ-வுக்கு இணையாக வரையப்பட்டது. அஸ என்பது $t$ என்னும் நேரத்தைக் குறிக்கும். எனவே $t$ செகண்டுகளினிறுதியில் உள்ள கதியாகிய நிஸ $=u+at$ ஆகும்.




படம் 25 (2)

இத்துகள் கடந்து சென்ற தூரத்தை பநிஸஅ என்னும் நாற்கோட்டத்தின் (Quadrilateral) பரப்பு காட்டும். நாற்கோ. பநிஸஅ $=$ நேரகம் பதஸஅ $+$ முக்கோணம் பதநி

$=$ அப $\times$ அஸ $+\frac{1}{2}$பத $\times$ தநி

$$=ut+\tfrac{1}{2}t\times at$$

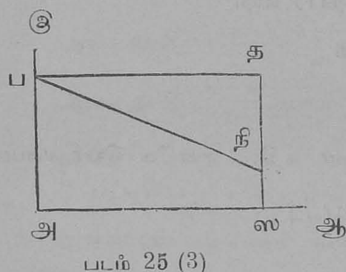
ஆகையால் கடந்துசென்ற தூரம்

$$s=ut+\tfrac{1}{2}at^2.$$

இவ்வாறாக துவக்க கதியையுடைய ஒரு துகள் முடுக்கப்பட்டால் அது கடந்துசெல்லும் தூரத்தைக் காண சீரான கதியோடு சென்றால் அது கடந்துசெல்லக்கூடிய தூரத்துடன், தங்குநிலையிலிருந்து முடுக்கப்பட்டால் அது செல்லக்கூடிய தூரத்தைக்கூட்ட வேண்டுமென்று தெரிந்துகொள்ளுகிறோம்.

$u$ என்னும் துவக்க கதியைக் கொண்ட ஒரு பொருள் சீரான $a$ என்னும் அருக்கத்திற்கு உட்பட்டால் அதன் கதி-வரை படத்தில் (படம் 25 (3)) கண்டபடி இருக்கும்.

அத்துகள் கடந்துசென்ற தூரம் :—



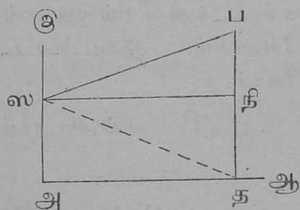
படம் 25 (3)

$s$ = நாற்கோ. பநிஸஅ.
= நேரக. பதஸஅ
— முக்கோணம் நிதப
= அப × அஸ — $\frac{1}{2}$பத × தநி = $ut - \frac{1}{2}t \times at$.

ஆகையால்

$$s = ut - \frac{1}{2}at^2.$$

போதுமை கதி :—ஒரு இடை நேரத்திலே ஒரு பொருளின் பொதுமை கதி என்பது, அந்த இடை நேரத்தில் அப்பொருள் கடந்துசென்ற தூரத்தை அவ்விடை நேரத்தால் வகுக்க வரும் ஈவு ஆகும். முடுக்கம் சீரானதாய் இருப்பின், இப்பொதுமை கதி ஆதியந்த கதிகளின் கூட்டுத்தொகையிற் பாதியாகும். $u$ என்பது துவக்க கதி என்றும், $a$ என்பது சீரான முடுக்கமென்றும், $t$ என்பது இடைநேரமென்றும், $v$ என்பது இறுதி கதி என்றும் கொள்வோம். படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 26).



படம் 26

அஸ = $u$, அத = $t$,

எனவே தப = $v$.

கடந்துசென்ற தூரம் $s$ = அதபஸ என்னும் நாற் கோட்டத்தின் பரப்பு.

$s$ = பரப்பு அதபஸ = முக்கோணம் அஸத
+ முக்கோணம் ஸபத

= $\frac{1}{2}$அஸ × அத + $\frac{1}{2}$தப × ஸநி

= $\frac{1}{2}$(அஸ + தப)அத

$= \frac{1}{2}(u+v)t$

$\frac{s}{t}$ என்பது பொதுமை கதி. எனவே பொதுமை கதி $v = \frac{s}{t} = \frac{\frac{1}{2}(u+v)t}{t} = \frac{1}{2}(u+v)$

இதிலிருந்து சீரான முடுக்கம் கொண்ட பொருளின் பொதுமை கதி என்பது, அதன் ஆதியந்த கதிகளின் கூட்டுத்தொகையில் பாதியாகும் என்பது தெரிகிறது.

சீரான முடுக்கத்தோடு இயங்கும் ஒரு துகளின் துவக்க–முடிவு கதிகளைக்கொண்டு அது இடையிலே கடந்து சென்ற தூரத்தைக் காண :—ஒரு துகளின் துவக்க கதி $u$ என்றும், அதன் முடிவு கதி $v$ என்றும், சீரான முடுக்கம் $a$ என்றும் கொள்வோம். இதைக் கொண்டு இடையிலே இத்துகள் கடந்து சென்ற $s$ என்னும் தூரத்தைக் காண வேண்டும். இடைப்பட்ட நேரம் $t$ என்று நாம் கொள்வோம்.

முடிவு கதி $v = u + at$.........(1) என்று நாம் முன்னே கண்டோம்.

இதனால் $t = \left(\frac{v-u}{a}\right)$ ஆகும்.........(1. $b$)

$t$ என்னும் நேரத்தில் கடந்து செல்லக் கூடிய தூரம்
$S=ut+\frac{1}{2}at^2$..............................(2)
என்பதையும் முன்பு கண்டோம். இதில் $t$-யை (1. $b$) என்னும் இணைவில் கண்ட மதிப்பைக் கொண்டு ஈடிட

$$S=u\left(\frac{v-u}{a}\right)+\frac{1}{2}a\left(\frac{v-u}{a}\right)^2 \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது $S=\frac{vu-u^2+\frac{1}{2}(v^2+u^2-2uv)}{a}$

அல்லது $S=\frac{v^2-u^2}{2a}$ ஆகும்.

இதை,

$2aS=v^2-u^2$ என்னும் உறவினால் நன்கு கூறலாம்.

$a$ என்னும் முடுக்கம் குறைக்குறியாய் இருந்திருப்பின்,

$-2aS=v^2-u^2$ அல்லது

$2aS=u^2-v^2$ என்றாகும்.

$a$-க்குத் தக்கவாறு குறியிட்டால், $v^2-u^2=2aS$ என்னும் உறவையே எப்போதும் மேற்கொள்ளலாம்.

இதை மற்றொரு வகையாகக் காணும் முறை வருமாறு :—பொதுமை கதி $V=\frac{S}{t}$ வரைவிலக்கணப்படி. மற்றும், பொதுமை கதி $V=\frac{1}{2}(v+u)$ என்று நாம் முன்பு கண்டோம்.

ஆகையால் $S=Vt=\frac{1}{2}(u+v)t$

ஆனால் $t=\frac{v-u}{a}$ ; $a$ என்பது சீரான முடுக்கம்.

எனவே $S=\frac{1}{2}(u+v)t=\frac{1}{2}(u+v)\frac{(v-u)}{a}$

அல்லது $2aS=v^2-u^2$ ஆகும்.

துவக்க கதி சூனியமானால் :—

$v = at$ . . . . . . (1)

$S = \frac{1}{2} at^2$ . . . . . . (2)

$v^2 = 2as$ . . . . . . (3)

$S = \frac{1}{2} vt$ . . . . . . (4) ஆகும்.

துகளின் கதி அருக்கப்பட்டால் :—

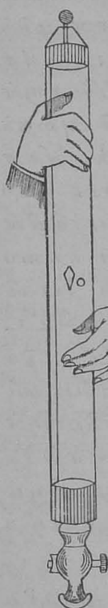
$v = u - at$ . . . . (1)

$S = ut - \frac{1}{2} at^2$ . . . (2)

$2aS = u^2 - v^2$ . . . (3) ஆகும்.

வீழும் பொருள்கள் (Falling Bodies) :—மேலே கண்ட சீரான முடுக்க இயக்கங்களிலே பொருள்கள் தம்வயமாக (freely)ப் பூமியில் வீழ்தலும் ஒன்றாத லால், நாம் கண்ட உறவுகளெல்லாம் இதற்குப் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. காற்றிலே பொருள்கள் பல வேறு கதிகளுடன் விழுகின்றன. ஒரு ஈயக்குண்டு ஒரு இறகை விட வேகமாய்ப் பூமியில் விழுகிறது. இவ்வேற்றுமை விழுகின்ற பொருள்களின் நிறையையே பொறுத்தது என்று முன்பு கருதப்பட்டது. அரிஸ்டாடில் (Aristotle) என்ற யவன அறிஞர் இதையே "பொருள்கள் தமது நிறைகளுக்கு ஏற்ற கதிகளுடன் விழுகின்றன" என்றெடுத்துக் கூறினார். ஆனால் கி. பி. 1590-ம் ஆண்டிலே கலீலியோ (Galileo) என்னும் இத்தாலிய அறிஞர் தமது பெயர் போன பரிசோதனைகளைச் செய்து, மேலே கண்ட விதி தவறானதென்று காட்டினார். அவர் 'பைஸா' (Pisa) நகரத்திலுள்ள சாய்ந்த கோபுரத்தின் உச்சியில் ஏறி, 100 பவுண்டு எடையுள்ள ஒரு கல்லையும், ஒரு பவுண்டு எடையுள்ள ஒரு கல்லையும் ஏக காலத்தில் போட்டார். அவையிரண்டும் ஏக காலத்தில் பூமியில் வந்து மோதின. அரிஸ்டாடில் விதிப்படி

இவற்றில் ஒன்றன் வீழ்ச்சி நேரம் மற்றொன்றின் நேரத்தைவிட நூறு மடங்காக இருந்திருக்கவேண்டும். மேலும் இலேசான பொருள்கள் மெதுவாக பூமியில் விழுவதற்கு, அவற்றின் குறைவான நிறை காரணமல்லவென்றும், இப்பொருள்களின் மீது ஏற்படும் காற்றின் தடையே (resistance of air) காரணமென்றும் காட்டினர். இதை நியூட்டன் குறிப்பிட்ட கினி இறகுப் பரிசோதனையால் நன்றாகக் காட்டலாம். இதிலே நான்கு அடி நீளமுள்ள ஒரு கண்ணாடிக் குழாயில் ஒரு நாணயத்தையும் ஓர் இறகையும் போட்டு இருபுறங்களிலும் நன்றாக மூடிவிட்டு, ஒரு இறைவி (exhaust pump) யினால் இக்குழாயில் உள்ள காற்றெல்லாம் வெளியேற்றப்படும். (படம் 27). இப்போது குழாயைத் தலைகீழாகத் திருப்பினால் நாணயமும் இறகும் ஒரே கதியோடு கீழிறங்கி வருவதைக் காணலாம். சிறிது காற்றைஉள்ளே விட்டால் இறகின் கதி தடைப்படுகிறது. இக்கதியின் அருக்கம் காற்றின் இறுக்கம் அதிகரித்தால் அதிகரிக்கிறது. எனவே காற்றின் தடையில்லாவிட்டால் 'எல்லாப் பொருள்களும் ஒரே முடுக்கத்துடன் பூமியில் விழும்' என்பது தெளிவாகிறது. இம் முடுக்கம் பூமி மட்டத்தில் இடத்துக்கிடம் சிறிது மாறுபடுகிறது. பூமியின் நடுவரை (equator)-க்கு அருகில், இதன் மதிப்பு மிகக் குறைவாகவும், துருவங்களுக்கு அருகில் மிக அதிகமாகவும் இருக்கிறது. இதைப் பூமிக் கவர்ச்சியின் முடுக்கம் என்று கூறுவார்கள். இதை எப்போதும் '*g*' என்னும் எழுத்தால் குறிப்பது மரபு. சாமானியமாய் நாம் *g*-யின் மதிப்பை பிரிட்டிஷ் திட்



படம் 27

டத்தில் 32 அடி/செக² என்றும், மெட்ரிக் திட்டத்தில் 981 செமீ/செக² என்றும் கொள்ளலாம்.

ஓரிடத்தில் பூமிக் கவர்ச்சிக்குரிய முடுக்கம் '$g$' அலகுகள் என்று கூறும்போது, ஒரு பொருளை அந்த இடத்தில் தன் வயமாக விழும்படி விட்டால், அதன் கதி ஒவ்வொரு செகண்டிலும் '$g$' அலகுகள் வீதம் அதிகரிக்கும் என்பதே பொருள். ஒரு பொருளை நாம் நேராக மேல் நோக்கி எய்தால், அது ஒரு குறிப்பிட்ட உயரம் வரை மேனோக்கிச் சென்று, பிறகு சீரான முடுக்கத்தோடு பூமியை நோக்கி விழுவதைக் காணலாம். உச்ச நிலையிலே அதன் கதி சூனியமாகும். அப்பொருள் மேலேறிச் செல்லும்போது பூமியின் கவர்ச்சி அதைக் கீழ் நோக்கி இழுத்துக் கொண்டே இருப்பதால், அதன் கதி ஒரு மாறுத அருக்கத்துக்குட்பட்டு, வரவரக் குறைந்து சூனியமாகி விடுகிறது. பிறகு பூமிக் கவர்ச்சியின் முடுக்கம் அப்பொருளிலே ஒரு கீழ் நோக்கிய கதியை ஊட்ட, அது சீரான முடுக்கத்தோடு பூமியை நோக்கி விழுகிறது. பொருள் மேலெழுந்தபோது ஏற்பட்ட அருக்கமும், அது கீழே விழும்போது ஏற்பட்ட முடுக்கமும் ஒன்றேயாகும். இம்முடுக்கம் எப்போதும் பூமியை நோக்கியே நிற்கிறது. எனவே பொருள் மேலெழும்போது இது அதன் இயக்க திசைக்கு எதிரே தொழிற்பட்டு அருக்கமாகவும், பொருள் கீழே விழும் போது இது பொருளின் இயக்கத் திசையிலே தொழிற் பட்டு முடுக்கமாகவும் ஆகிறது.

ஆகையால் சீரான முடுக்க இயக்கத்துக்குரிய வாய்பாடுகளெல்லாம் பொருள்களின் வீழ்ச்சிக்கும் பொருந்தும். துவக்க கதியை $u$ என்றும், இறுதி கதியை $v$ என்றும், கடந்த தூரத்தை $S$ என்றும், பூமிக் கவர்ச்சி முடுக்கத்தை $g$ என்றும், இடை நேரத்தை $t$ என்றும் கொண்டால்

$$v = u + gt \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$
$$S = ut + \tfrac{1}{2}\, gt^2 \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$
$$2g\, S = v^2 - u^2 \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$ ஆகும்.

மேனோக்கி எறியப்பட்ட பொருள்கள் (Projected Bodies):–இவ்வாறே மேனோக்கி எறியப்பட்ட பொருள்களுக்குரிய வாய்பாடுகளையும் எடுத்துக் கூறலாம். எறியப்பட்ட பொருளின் துவக்க கதி $u$ என்று கொண்டு, இடை நேரத்தை $t$ என்று குறிப்பிட்டால், அது கடந்து சென்ற தூரமாகிய $S$ கீழ்க் கண்ட வாய்பாடுகளினாலேப் பெறப்படும்.

$$v = u - gt \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$
$$S = ut - \tfrac{1}{2}\, gt^2 \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$
$$-2\, g\, S = v^2 - u^2 \quad . \quad . \quad (3)$$

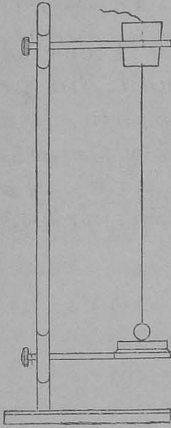
'$g$'-யை நிர்ணயித்தல் :—

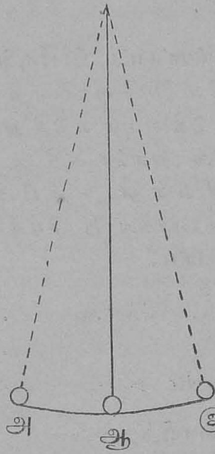
$g$-யின் மதிப்பைச் சிறிது திருத்தமாகக் காண வேண்டுவதற்கு நேரான முறைகளைக் கையாளுவதில் நிரம்பத் தொல்லைகள் இருக்கின்றன. ஆகையால் வேறு சில மறைமுகமான சுற்று வழிகளாலே இதன் மதிப்பு காணப்படுகிறது. இவற்றில் மிக எளியது சாமானிய நாலத்தினுதவியால் காணும் முறையாகும்.

சாமானிய நாலம் (Simple Pendulum) சாமானிய நாலத்தின் லட்சிய (ideal) அமைப்பு வருமாறு :—

ஒரு மிகச் சிறிய ஆனால் கனத்த துகள் ஒன்று, கனமும் முறுக்கு மற்ற நெகிழாத மெல்லிய நூலினால், ஒரு கெட்டியான பிடியிலிருந்து தொங்க விடப்பட வேண்டும். ஆனால் காரியாலயத்தில் இதைப் போன்ற நாலத்தைப் பெறமுடியாது. இதற்காகவே மெல்லிய முறுக்கில்லாத நூலினால் தொங்கவிடப்பட்ட ஒரு

உலோக உருண்டை சாமானிய நாலமாகக் கொள்ளப்படும். (படம் 28(1)). இவ்வுருண்டையைக் குண்டு (bob) என்பார்கள். தொங்கவிடப்பட்ட புள்ளிக்கும் குண்டின் மையத்துக்கும் இடைப்பட்ட தூரமே சாமானிய நாலத்தின் நீளம் எனப்படும். இந்த நீளத்தை அடிக்கடி மாற்றுவதற்கும் அதை அளப்பதற்கும் எளிதாய் இருக்கும்பொருட்டு, நூலின் மேற்பாகம், பிளக்கப்பட்ட ஒரு கார்க்கின் துண்டுகளினிடையே செலுத்தி இறுகப் பிடிக்கப்பட்டிருக்கும். நாலம் ஆடாமல் இருக்கும்போது இந்தச் சரடு நிமிர்ந்து நிற்கும். அப்போது குண்டு தனது மிகத் தாழ்ந்த நிலையில் இருக்கும். குண்டைச் சற்று ஒருபுறமாக இழுத்துவிட்டால் அது முன்னும் பின்னுமாக ஒரு வட்டத்தின் அஆஇ என்னும் துண்டின் வழியாக, ஒரே நிமிர்வைத் தளத்திலே ஆடும். நடுநிலையிலே இருந்து இருபுறமும் செல்லும். அஆ, ஆஇ என்னும் பெயர்ச்சிகளை இவ்வாட்டத்தின் வீச்சு (Amplitude) என்று கூறுவார்கள். (படம் 28 (2)). இவ்வட்ட துண்டின்மீது, குண்டு, தனது நடு நிலையின் வழியாக மாறி மாறி எதிர்த்திசைகளில் செல்லும். இந்நடுநிலையின் வழியாக அடுத்தடுத்து ஒரே


படம் 28 (1)



படம் 28 (2)

திசையில் செல்லுவதற்கு இடைப்பட்ட இயக்கம், ஒரு ஆட்டம் (Oscillation) எனப்படும். குண்டு தனது நடுநிலையையோ, அல்லது அது ஆடும் வட்டத்துண்டின் மீதுள்ள எந்தப் புள்ளியையோ, ஒரே திசையில்அடுத்தடுத்துக் கடப்பதற்கு இடைப்பட்ட நேரம், இந்நாலத்தின் 'பொழுது' (Period) எனப்படும்.

ஒரு சாமானிய நாலத்தின் நீளம் $l$ என்றும், அதன் பொழுது T என்றும், அது ஆடும் இடத்தில் பூமியின் கவர்ச்சிக்குரிய முடுக்கம் $g$ என்றும் கொண்டால்

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$ ஆகும்.

இதில் $l$, $g$ என்பன ஒரே திட்டத்தில் அளக்கப்பட வேண்டும்.

சாமானிய நாலத்தின் விதிகள் :—(1) மாருத நீளமுள்ள ஒரு சாமானிய நாலத்தின் வீச்சு சிறியதாய் இருக்கும்போது அதன் பொழுது வீச்சினளவைச் சார்ந்திருக்காது.

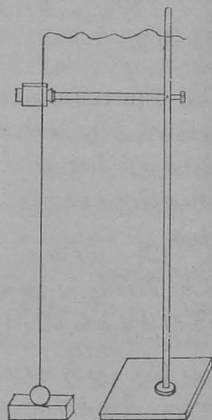
(2) மாருத நீளமுள்ள ஒரு சாமானிய நாலத்தின் பொழுது அதனுடைய குண்டின் நிறையையோ, பதார்த்தத்தையோ சார்ந்திருக்காது.

(3) ஒரு சாமானிய நாலத்தின் பொழுது அதனுடைய நீளத்தின் வர்க்கமூலத்திற்கு (square root) ஏற்பநேராக இருக்கும்.

(4) ஒரு சாமானிய நாலத்தின் பொழுது அது ஆடும் இடத்தின் பூமிக்கவர்ச்சி முடுக்கத்தினது வர்க்கமூலத்திற்கு எதிர்விகிதமாக (Inversely proportional) இருக்கும்.

இந்த நான்கு விதிகளும் மேலே கண்ட வாய்பாட்டினுள் அடங்கி இருக்கின்றன. பொழுதின் அளவைக் கூறும் அந்த வாய்பாட்டிலே ஆட்டத்தின் வீச்சு, குண்டின் நிறை, அதன் குணங்கள் இவற்றைக் காட்டும் இராசிகள் இடம் பெறாமையால் முன்னிரண்டு விதிகளும் இதனுள் அடங்கிவிட்டன. $2\pi$ என்பது ஒரு மாறிலி. எனவே வருக்கமூலக் குறியினுள்ளே $l$ மேலெண்ணாகவும் (Numerator), $g$ கீழெண்ணாகவும் (Denominator) வருவதால் பின்னிரண்டு விதிகளும் இதனுள் கட்டுப்பட்டன.

ஒரு சாமானிய நாலத்தைக்கொண்டு செய்யும் பரிசோதனைகள்:—ஒரு சாமானிய நாலத்தைத் தயார் செய்து வைக்கவும். இதன் நடுநிலையைக் குறித்து வைத்துக்கொள்ளவேண்டும். இதற்காக இதன் அருகில், பின்புறத்தில் உள்ள ஒரு பொருளின் நிமிர்வைத் தளத்தின்மீது, ஓர் நிமிர்வரையைச் சாக்கட்டியால் வரைந்து கொள்ளலாம். அல்லது ஒரு நீண்ட பூனூல்-சியை நிமிர்ந்து நிற்கும்படி இதன்பின்னால் நிறுத்தி வைக்கலாம். இதன் நீளத்தை அளக்க ஒரு நேரக வடிவான கட்டையைக் குண்டின் அடியில் கொண்டுவந்து, அக்கட்டையின் மேற்பரப்பைக் குண்டின் அடி தொட்டுக்கொண்டிருக்கும்படி வைத்து, ஒரு அளவியினுதவியால் தொங்கும் புள்ளிக்கும் கட்டையின் மேற்பரப்பிற்கும் உள்ள தூரத்தை அளக்கவும். குண்டின் விட்டத்தை ஒரு காலிபரினுதவியால் கண்டு, அதில் பாதியாகிய ஆரத்தினளவை முன்பு கண்ட நீளத்தி



படம் 29 (1)

லிருந்து கழித்துவிட, தொங்கும் புள்ளிக்கும் குண்டின் மையத்துக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் கிடைக்கும். இதுவே நாலத்தின் நீளமாகும். குண்டின் மையத்தை ஆட்ட மையம் (Centre of oscillation) என்பார்கள்.

(1) வீச்சு சிறியதாய் இருக்கும்வரையில் நாலத்தின் பொழுது வீச்சினளவைச் சார்ந்திருக்கவில்லை என்று காட்ட:—ஒரு சாமானிய நாலத்தின் நீளத்தை ஏறக்குறைய 60 செ. மீ. இருக்கும்படியாக அமைத்துக் கொண்டு, அதன் குண்டைச் சுமார் 4 செ. மீ. தூரத்திற்கு ஒருபுறத்தில் இழுத்துவிடவும். அது ஆடத் தொடங்கும். இவ்வாட்டங்களெல்லாம் ஒரே நிமிர்வைத் தளத்தில் நிகழும்படி செய்யவேண்டும். இப்போது நாலத்தின் எதிரில் உட்கார்ந்துகொண்டு, அது நாம் முன்பு குறிப்பிட்ட நடுநிலை வரையை அல்லது ஊசியை ஒரு திசையில் கடந்துசெல்லும்போது, இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தை ஓடச்செய்து அந்நொடியைச் சூனியமென்று தொடங்கி, நாலம் அவ்வரையை அதே திசையில் அடுத்தடுத்துக் கடக்கும்போது, 1, 2, 3......என்றிவ்வாறு எண்ணிக்கொண்டு, 30-வது முறை கடக்கும்போது கடியாரத்தை நிறுத்தி, ஆன நேரத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். சிறிது பொழுது கழிந்து அதே நாலத்திற்கு மறுபடியும் 30 ஆட்டங்களுக்காகும் நேரத்தைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். மூன்றாவது முறையும் இவ்வாறு 30 ஆட்டங்களுக்கான நேரத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். ஒவ்வொரு முறையும், ஆன நேரத்தை 30-ஆல் வகுக்க அவ்வப்போதும் இருந்த 'பொழுது' கிடைக்கும. இம்மூன்று மதிப்புகளும் சமமாய் இருத்தலைக் காணலாம். நாலத்தின் வீச்சு வரவரக் குறைந்து கொண்டே வந்தது. ஆயினும் அதன் பொழுதுமட்டும் மாறவில்லை என்று கண்டோம். எனவே வீச்சு

சிறியதாய் இருக்கும்வரையில் பொழுது அதைச் சார்ந்திருக்கவில்லையென்றும் அதனால் முதல் விதி யுண்மையென்பதும் தெளிவாகிறது.

ஒரு சாமானிய நாலத்தின் நீளம் மாறதிருக்க அதன் பொழுது குண்டின் நிறையைச் சார்ந்திருக்காது என்று காட்ட :—ஏறக்குறைய ஒரே அளவுள்ள, ஆனால் வெவ்வேறு உலோகங்களாலான, குண்டுகளை எடுத்துக்கொள்ளவும். இவற்றின் நிறைகள் வேறுபடும் என்பது வெளிப்படை. இவற்றில் ஒன்றை நூலின் நுனியில் தொங்கவிட்டு, இந்த நாலத்தின் நீளத்தைக் குறித்துக்கொண்டு, ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தினுதவியால் இதன் பொழுதைக் கண்டுபிடிக்கவும். பிறகு மற்ற குண்டுகளையும் ஒவ்வொன்றாகத் தொங்கவிட்டு அவ்வப்போதும் நீளத்தை முன்னளவுக்கே வரும்படி சரிப்படுத்தி அவற்றின் பொழுதுகளையும் காணவும். இப்பொழுதுகளெல்லாம் சமமாய் இருப்பது தெரிய வரும்.

சாமானிய நாலத்தின் பொழுது அதன் நீளத்தினது வர்க்கமூலத்திற்கு ஏற்பநேராக இருக்கின்றது என்று காட்ட:—ஒரு சாமானிய நாலத்தைத் தயார் செய்யவும். முன்கூறியபடி அதன் நீளத்தை அளந்து அதை 40 செ.மீ. ஆகச் செய்துகொள்ளவும். ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தின் உதவியால் முன்னல் கூறியபடி அதன் பொழுதைக் கண்டுபிடிக்கவும். முறையே நாலத்தின் நீளத்தை 50, 60, 70, 80, 90, 100 செ. மீ. ஆக்கி அவ்வப்போதும் அதன் பொழுதை நிர்ணயிக்கவும். இப்பரிசோதனைகளிலே கண்டவற்றைக் கீழ்க்கண்டவாறு அட்டவணைப்படுத்தவும்.

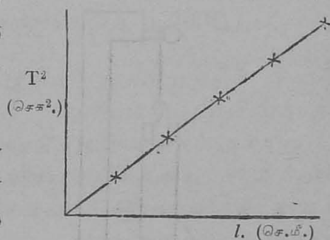
இதில் கடைசிக் கலத்தில் கண்ட இராசி மாறிலியாய் இருப்பது விளங்கும். எனவே பொழுது நீளத்

தின் வர்க்கமூலத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது. மற்றும் இரண்டாவது கலத்தில் கண்ட $l$-இன் மதிப்புகளைப் படுகை

| எண் | நீளம் $l$ | பொழுது T | $l/T^2$ |
|---|---|---|---|
| | | | |

படம் **29** (2)

ஆயமாகவும், மூன்றாவது கலத்தில் கண்ட T-யின் வர்க்கமாகிய $T^2$-ஐ நிலைவை ஆயமாகவுங் கொண்ட ஒரு உருவகம் வரைந்தால் அது படத்தில் கண்டபடி ஒரு நேர்கோடாக இருக்கும். (படம் 29 (3)).



படம் 29 (3)

எனவே, சாமானிய நாலத்தைப்பற்றிய மூன்றாவது விதியும் உண்மையென்பது விளங்கும்.

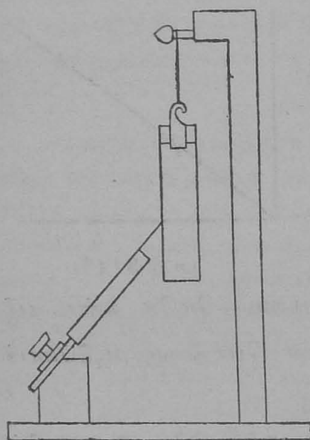
'$g$'-யின் மதிப்பைக் காண:—மேலே கண்ட பரிசோதனைகளிலிருந்து $\frac{l}{T^2}$-இன் பொதுமை மதிப்பைக் காணவும். இதை

$g = 4\pi^2\left(\frac{l}{T^2}\right)$ என்னும் இணைவிலே இட $g$-யின் மதிப்புக் கிடைக்கும்.

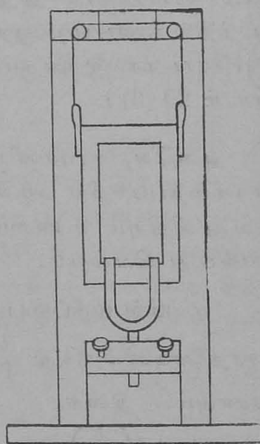
சேகண்டு நாலம்:—ஒரு நாலத்தின் பொழுது இரண்டு செகண்டுகளானால் அது ஒரு 'செகண்டு

நாலம்' எனப்படும். இந்த நாலத்தின் நீளத்தை நாம் முன்பு வரைந்த உருவகத்திலிருந்து காணலாம். அது ஏறக்குறைய 100 செ. மீ. ஆகும்.

பலகை வீழ்ச்சி முறையினுல் (Fall plate method) 'g'-யைக் காணல் :—மிகக் குறுகிய கால அளவுகளை இசைக்கவட்டினுல் (Tuning fork) அளக்கலாம். இசைக் கவடு **U** என்னும் எழுத்தின் வடிவிலே செய்யப்பட்ட ஒரு எஃகுச் சட்டமாகும். இந்த இசைக் கவட்டின் அடுக்கம் (frequency) மாறிலியாய் இருக்கும். அடுக்கம் என்பது ஒரு செகண்டில் ஏற்படும் துடிப்புகளின் எண்ணிக்கையாகும். இக் கவட்டின் ஒரு கொம்பிலே ஒரு சிறு குதிரை மயிர்த் துண்டை மெழுகினுல் வெளியே நீண்டிருக்கும்படி



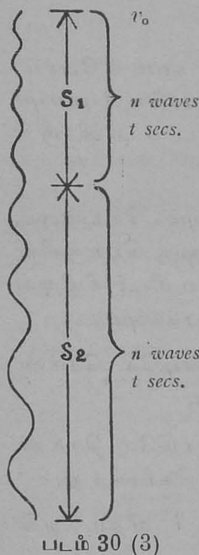

படம் **30** (1)




படம் **30** (2)

ஒட்ட வைக்கவும். (படம் 30 (1)). ஒரு மெல்லிய நீண்ட கண்ணுடிப் பலகையின்மீது புகையேற்றி அதை

ஒரு மெல்லிய நூலினால் தொங்கவிடவும். படத்தில் கண்டபடி இசைக்கவட்டை அதனோடு பொருத்தப்பட்ட குதிரை மயிரின் நுனி, புகையுண்ட பலகையின் அடியைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்குமாறு ஏற்றிவைக்கவும். கவட்டைத் தட்டிவிட்டு, ஒரு விளக்குச் சுவாலையால் நூலைக்கொளுத்தி, கண்ணாடிப் பலகையை விழச்செய்யவும். புகையுண்ட பரப்பின்மீது அலைவடிவான வரை ஒன்று காணப்படும். இது பலகை விழுந்தபோது குதிரை மயிரினால் ஏற்பட்டதாகும். இவ் வலைவரை படத்தில் கண்டவாறு இருக்கும். (படம் 30(3)).



படம் 30 (3)

இதில் முதன்முதலில் தெளிவாகத் தெரியும் அலையிலிருந்து அடுத்தடுத்துள்ள $n$ (3 அல்லது 4) அலைகளைப் பிரித்துக் குறித்துக் கொள்ளவும். இந்த அலைத்தொடர் நீளங்களாகிய $S_1$, $S_2$, $S_3$...... என்பனவற்றைக் கவராசத்தினுதவியால் அளந்துகொள்ளவும்.

முதல் அலைத்தொடரின் துவக்கத்தில் பலகையின் கதி $v_0$ என்றும், இசைக்கவட்டின் $n$ துடிப்புகளுக்காகும் நேரம் t என்றும் கொண்டால், முதல் அலைத் தொடரின் நீளம், $S_1 = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$ ஆகும்.

இத்தொடரின் முடிவில் அதாவது இரண்டாவது அலைத்தொடரின் துவக்கத்தில் பலகையின் கதி $v_1 = v_0 + gt$ ஆகும். ஆகையால் இரண்டாவது அலைத்தொடரின் நீளமாகிய

$S_2 = v_1t + \frac{1}{2}gt^2 = v_0t + gt^2 + \frac{1}{2}gt^2$ ஆகும்.

ஆகையால் $S_2 - S_1 = gt^2$

அல்லது $g = \left(\frac{S_2 - S_1}{t^2}\right)$ ஆகும்.

இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தை நாமறிவோம். ஆதலின் $n$ துடிப்புகளுக்காகும் நேரமாகிய $t$-யையும் கணக்கிடலாம். எனவே மேலே கண்ட உறவினால் $g$-யின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாகும்.

உதாரணம் 1 :—சென்டிமீடரையும் செகண்டையும் அலகுகளாகக் கொண்டபோது, ஒரு பொருளின் முடுக்கம் 20 அலகுகளாகும். இதையே மீடர் நிமிஷங்களை அலகுகளாகக்கொண்டு எடுத்துரைக்கவும்.

அப்பொருளின் கதி ஒரு செகண்டிலே செகண்டிற்கு 20 செ.மீ. வீதம் அதிகரிக்கிறது.

அதாவது அதன் கதி ஒரு நிமிஷத்திலே செகண்டிற்கு $20 \times 60 = 1200$ செ.மீ. வீதம் அதிகரிக்கிறது.

அல்லது ஒரு நிமிஷத்திலே 12 மீடர் வீதம் அதிகரிக்கிறது என்று கூறலாம்.

இதையே, அதன் கதி நிமிஷத்திலே நிமிஷத்திற்கு $12 \times 60 = 720$ மீ. வீதம் அதிகரிக்கிறது என்றும் கூறலாம். இதுவே நாம் வேண்டியதுமாகும்.

எனவே மீடரையும் நிமிஷத்தையும் அலகுகளாகக்கொண்டு அப்பொருளின் முடுக்கத்தைக் கூறவேண்டுமானால் 720 முடுக்க அலகுகள் என்று கூறவேண்டும்.

உதாரணம் 2 :—8 அடி/செக. என்னும் கதியோடு கிளம்பியதொரு பொருள், சீரான முடுக்கத்தோடு 1 நிமிஷம் சென்றபின்னர் 20 அடி/செக. என்னும் கதியை அடைந்தது. இதன் முடுக்கத்தைக் காண்க.

துவக்க கதி $u=8$ அடி/செக.

இறுதி கதி $v=20$ அடி/செக.

இடை நேரம் $t=60$ செக.

$v=u+at$. இதில் $a$ என்பது முடுக்கம்.

$20=8+60a$

அல்லது $60a=12$

அல்லது $a=\frac{1}{5}$

எனவே அப்பொருளின் முடுக்கம் $\frac{1}{5}$ அடி/செக$^2$.

உதாரணம் 3 :—மணிக்கு 15 மைல் கதியோடு சென்றுகொண்டிருந்த ஒரு மோட்டார்வண்டியின் கதி, 10 செகண்டுகள்வரை சீராக அதிகரித்து வந்தது. இதன்பிறகு அதன் கதி மணிக்கு 20 மைல் ஆயிற்று. இதன் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுக. தடைவிசைகள் பிரயோகிக்கப்பட்டு 20 அடி/செக$^2$ என்னும் அருக்கத்துடன் அவ்வண்டி நிறுத்தப்பட்டது. தடைவிசைகள் பிரயோகித்தபின்னர், அது நிற்பதற்கு எவ்வளவுநேரம் ஆகும் ?

துவக்க கதி 1 மணிக்கு 15 மைல் ; அதாவது
22 அடி/செக.

இறுதி கதி 1 மணிக்கு 20 மைல் ; அதாவது

$$\frac{22}{15}\times 20=\frac{88}{3} \text{ அடி/செக.}$$

இடைநேரம் 10 செகண்டுகள்.

ஆகையால், $\frac{88}{3}=22+a\times 10$

$$\frac{88}{3}-22=a\times 10.$$ அதாவது

முடுக்கம் $=\frac{22}{30}$ அடி/செ$^2$ ஆகும்.

வண்டி ஓடிய கதி மணிக்கு 20 மைல்

$=\frac{88}{3}$ அடி/செ. ஆகும்.

தடைவிசைகளினுலேற்பட்ட அருக்கம் 20 அடி/செக$^2$. அதாவது ஒவ்வொரு செகண்டிலும் வண்டியின் கதி 22 அடி/செ. என்ற வீதத்தில் குறையும்.

எனவே வண்டியின் கதியாகிய $\frac{88}{3}$ அடி / செக. முற்றிலும் மறைந்து சூனியமாவதற்கு

$$\left(\frac{88}{3}\div 20\right)$$ செக. ஆகும்.

அதாவது $\frac{88}{60}=1\frac{7}{15}$ செகண்டுகள் ஆகும்.

எனவே தடைவிசைகள் பிரயோகிக்கப்பட்டபின்னர் $1\frac{7}{15}$ செகண்டுகள் கழிவதற்குள் வண்டி நின்றுவிடும்.

உதாரணம் 4:—மணிக்கு 60 மைல் கதியில் சென்றதொரு புகைவண்டி நீராவியை அடக்கிவிட்டு 1 நிமி. 28 செக. நேரத்திலே முற்றிலும் நின்றுவிடுகிறது. அதன் அருக்கம் சீரானதென்று கொண்டு அது நீராவி அடங்கியபின்னர் சென்ற தூரத்தையும், அவ்வருக்கத்தையும் கணக்கிடுக.

வண்டியின் துவக்க கதி $u=60$ மைல்/மணி

$=\frac{60\times 22}{15}=88$ அடி/செக.

அருக்கம் தொழிற்பட்ட நேரம் $t=88$ செகண்டுகள். இதனால் வண்டியின் கதி முற்றிலும் அழிந்துவிட்டது.

எனவே அருக்கம் $a=1$ அடி/செக$^2$. வண்டி கடந்துசென்ற தூரம்,

$$S=ut-\tfrac{1}{2}\,at^2$$
$$=88\times 88-\tfrac{1}{2}\times 88^2$$
$$=\tfrac{1}{2}\,88^2=3872$$ அடி ஆகும்.

உதாரணம் 5 :—ஒரு மின்சார வண்டித் தொடர் இயங்காத நிலையிலிருந்து சீரான முடுக்கத்தோடு கிளம்பி, 30 செகண்டுகளிலே மணிக்கு 35 மைல் என்னும் தனது உச்ச நிலை கதியை அடைகிறது. இந்த கதியுடன் சிறிது தூரம் சென்ற பின்னர் அது நிறுத்தப்பட்டு, 25 செகண்டுகளிலே முற்றிலும் நின்று விடுகிறது. இந்த இரண்டு நிலைகளுக்கிடையே அது செல்ல வேண்டிய நேரம் 85 செகண்டுகளானால், அவற்றினிடைத் தூரம் யாது?

வண்டியின் துவக்க கதி $=0$

வண்டி அடைந்த உச்ச நிலை கதி $=35$ மைல்/மணி

$=\dfrac{35\times 22}{15}=\dfrac{154}{3}$ அடி/செக.

$\therefore$ பொதுமை கதி $\dfrac{154}{6}$ அடி/செக.

இக் கதி 30 செகண்டுகளிலே பெறப்பட்டது.

இதற்குள் வண்டி கடந்து சென்ற தூரம்

$\dfrac{154}{6}\times 30=\mathbf{770}$ அடி.

வண்டி நின்ற பின்னர் அதன் கதி $=0$

வண்டியின் உச்ச நிலை கதி $\dfrac{154}{3}$ அடி/செக.

எனவே நிறுத்தப்படும்வரையில் அதன் பொதுமை கதி $\frac{154}{6}$ அடி/செக. இதற்கான நேரம் 25 செகண்டுகள். இதற்குள்ளாக வண்டி கடந்துசென்ற தூரம் $\frac{154}{6} \times \frac{25}{} = 641\frac{2}{3}$ அடி. வண்டி ஓடிய முழு நேரம் 85 செக. முடுக்கியதும் அருக்கியதும்போக இடைநேரம் $\{85-(30+25)\} = 30$ செக. அந்த 30 செகண்டுகளில் வண்டி சென்ற கதி $\frac{154}{3}$ அடி/செக.

இதனால் கடந்த தூரம் $\frac{154}{3} \times \frac{30}{} = \mathbf{1540}$ அடி.

மொத்தமாக வண்டி கடந்த தூரம்

$$= (770 + 641\tfrac{2}{3} + 1540) \text{ அடி.}$$

$\therefore$ இரு நிலையங்களினிடைத்தூரம் $= \mathbf{2951\frac{2}{3}}$ அடி.

உதாரணம் 6 :—சீரான முடுக்கத்தோடு செல்லுமொரு பொருள் 20-வது செகண்டிலே 30 அடி தூரம் கடந்துசென்றது. அதன் முடுக்கத்தைக் காண்க.

அப்பொருளின் முடுக்கம் $a$ என்று கொள்வோம். அதன் துவக்க கதி பூஜ்ஜியமாகவிருக்கவேண்டும். 19 செகண்டுகளில் அது கடந்து செல்லும் தூரம்

$$= S_{19} = \tfrac{1}{2}a.19^2.$$

20 செகண்டுகளில் அது கடந்து செல்லும் தூரம் $= S_{20} = \frac{1}{2}.a.20^2$.

எனவே 20-வது செகண்டிலே அது கடந்து சென்ற தூரம்

$$= (S_{20} - S_{19}) = \tfrac{1}{2}a(20^2 - 19^2)$$

$$= \tfrac{1}{2}a(20+19)(20-19)$$

$$= \tfrac{1}{2}a \times 39$$

இது 30 அடியென்று கணக்கிலே காணப்பட்டுள்ளது.

எனவே $30 = \frac{1}{2}a.39$.

அல்லது $a = \frac{60}{39} = 1\frac{21}{39}$

எனவே அப்பொருளின் முடுக்கம்

$= 1\frac{21}{39}$ அடி/செக$^2$ ஆகும்.

உதாரணம் 7:—மணிக்கு 30 மைல் வீதம் ஓடிக்கொண்டிருக்குமொரு வண்டித்தொடரின் நீராவிப் போக்கை அடைத்துவிட்டபின்னர், இரண்டு பர்லாங்குகள் செல்வதற்குள், அதன் கதி பாதியாகக் குறைந்துவிட்டது. அது நின்றுபோவதற்குமுன் எவ்வளவு தூரம் முன்னேறிச் செல்லக்கூடும்?

வண்டியின் துவக்க கதி $u$

$= 30$ மைல்/மணி $= \frac{30 \times 22}{15} = 44$ அடி/செ. ஆகும்.

இடையில் வண்டியின் கதி $v$

$= \frac{15 \times 22}{15} = 22$ அடி/செ. ஆகும்.

இதனிடையே கடந்த தூரம் $= S$

$= 2 \times 220 \times 3 = 1320$ அடி

$v^2 - u^2 = -2\,as$

அல்லது $22^2 - 44^2 = -2 \times 1320 \times a$

அல்லது $(44+22)\,(44-22) = 2 \times 1320a$.

அல்லது அருக்கம் $a = \frac{66 \times 22}{2 \times 1320} = \frac{11}{20}$ அடி/செக$^2$.

வண்டி முற்றிலும் நின்றுவிட்ட போது $v = 0$

அதற்குள் வண்டி கடந்து சென்றதூரம் $S$ ஆனால்

$$u^2 = 2\,aS$$

அதாவது $22^2 = 2 \times \frac{11}{20}\,S$

அல்லது $S = \dfrac{22 \times 22 \times 20}{22} = 440$

வண்டி நிற்பதற்கு முன்னர்க் கடந்து சென்ற தூரம் 440 அடி.

எனவே நீராவி அடங்கிய பின்னர் வண்டி சென்ற தூரம் $440 + 1320 = 1760$ அடி அல்லது $\frac{1}{3}$ மைல்.

## பொருள்களின் வீழ்ச்சி.

உதாரணம் 8:—ஒரு பொருளை 15 அடி/செக. என்னும் கதியோடு மேனோக்கி எறிந்தால் அது எவ்வளவு உயரக் கிளம்பும்? உச்ச நிலையையடைய எவ்வளவு நேரமாகும்.

(ஆக்ஸ். 1932)

பொருளின் துவக்க கதி $u = 15$ அடி/செக.

உச்ச நிலையில் கதி $v = 0$

நிலக்கவர்ச்சியின் முடுக்கம் $g = 32$ அடி/செக$^2$.

$$u^2 = 2\,gS.$$

$$15^2 = 2 \times 32 \times S.$$

$S = \dfrac{15 \times 15}{2 \times 32} = 3{\cdot}52$ அடி.

நிற்க $t$ என்பது மேலெழுந்த நேரம் என்று கொள்வோம்.

$v = u - gt.$

$0 = 15 - 32\,t$

அல்லது $t = \dfrac{15}{32}$ செக.

உதாரணம் 9 :—ஒரு கல் மேனோக்கி 96 அடி/செக. என்னும் கதியோடு வீசப்பட்டது. 3 செகண்டு களுக்குப் பின்னர் அதே இடத்திலிருந்து மற்றொரு கல் 72 அடி/செக. என்னும் கதியோடு மேனோக்கி எறியப் பட்டது. அவை எங்கே, எப்போது சந்திக்கும்.

முதல் கல்லின் துவக்க கதி $u_1 = 96$ அடி/செக.

இரண்டாவது கல்லின் துவக்க கதி $u_2 = 72$ அடி/செக.

இவை இரண்டும் $g$ என்ற நிலக் கவர்ச்சிக் குட்பட் டவை.

இவை $S$ என்ற உயரத்திலே, முதல் கல் எறியப் பட்ட பின்னர் $t$ செகண்டுகள் கழித்துச் சந்திப்பதாகக் கொள்வோம்.

$S = u_1 t - \frac{1}{2} gt^2$ ;

$S = u_2 (t-3) - \frac{1}{2} g (t-3)^2$ ; ஆகையால்

$u_1 t - \frac{1}{2} gt^2 = u_2 (t-3) - \frac{1}{2} g (t-3)^2$

இவற்றிலே எண்களை ஈடிடவே

$96t - 16t^2 = 72 (t-3) - 16 (t-3)^2$

இதைச் சுருக்கவே,

$O = 72t - 360$ என்றாகிறது.

எனவே $t = 5$ செகண்டுகள்.

முதற்கல் இதற்குள் செல்லக்கூடிய தூரம்

$S = u_1 t - \frac{1}{2} gt^2 = 96 \times 5 - 16 \times 25 = 80$ அடி.

எனவே முதற்கல் புறப்பட்ட பின்னர் **5** செகண்டு கள் கழித்து இரண்டு கற்களும் **80** அடி உயரத்தில் சந்திக்கின்றன.

உதாரணம் :—(10) 80 அடி உயரமுள்ள கோபுரத்தின் உச்சியிலிருந்து ஒரு கல் கீழே போடப்பட்டது. இதே நொடியில் மற்றொரு கல் கோபுரத்தினடியிலிருந்து செகண்டுக்கு 40 அடி கதியோடு நேரே மேல் நோக்கி வீசப்பட்டது. அவை எங்கே, எப்போது சந்திக்கும் ?

புறப்பட்ட பின்னர் $t$ செகண்டுகள் கழித்து அவை தரையிலிருந்து $S$ அடி உயரத்திலே சந்திப்பதாகக் கொள்வோம்.

மேலே எறியப்பட்ட கல் கடந்ததூரம் $S$ அடி.

கீழே போடப்பட்ட கல்கடந்ததூரம் $(80-S)$ அடி.

மேலே எறியப்பட்ட கல்லை யெடுத்துக்கொண்டால்,

$S=ut-\frac{1}{2}gt^2$.

அதாவது $S=40t-16t^2$ ... ... ... ... ... ... (1)

கீழே போடப்பட்ட கல்லை எடுத்துக் கொண்டால்,

$(80-S)=\frac{1}{2}gt^2=16t^2$... ... ... ... ... ... ... (2)

இவை இரண்டையும் கூட்ட $40t-16t^2+16t^2=80$.

அதாவது $t=2$ செகண்டுகள். இதை முதற் சமீகரணத்தில் ஈடிட $S=16$ அடி ஆகும். எனவே இந்தக் கற்களிரண்டும் வீசப்பட்ட பின்னர் 2 செகண்டுகள் கழித்து தரைக்கு மேலே 16 அடி உயரத்திலே சந்திக்கின்றன.

உதாரணம் 11 :—ஒரு சரம் செங்குத்தாக மேனோக்கி 48 அடி/செக. என்ற கதியோடு, தரைக்கு மேலே 64 அடி உயரத்திலிருந்து வீசப்படுகிறது. அது தரைக்கு வந்து சேர எவ்வளவு நேரமாகுமென்று கணக்கிடுக.

(சென்னை 1920 அக்.)

மேனோக்கும் திசையை மிகைக் குறியாகக் கொள்வோம்.

சரத்தின் துவக்க கதி $u=48$ அடி/செக.

அதன் இறுதி தூரம் $S=-64$ அடி

இதை அடைவதற்கான நேரம் $t$ என்று கொள்வோம்.

$S=ut-\frac{1}{2}gt^2$

அதாவது $-64=48t-\frac{1}{2}\times 32\times t^2$

அல்லது $t^2-3t-4=0$.

அல்லது $(t-4)(t+1)=0$.

ஆகவே $t=4$ அல்லது $-1$

எனவே சரம் வீசப்பட்ட பிறகு 4 செகண்டுகள் கழித்து அது தரையில் வந்து விழும்.

குறிப்பு:—$t=-1$ என்ற ஈவு பொருளற்றதல்ல. சரம் தனது கதியை 64 அடி உயரத்திலே திடீரென்று அடைந்திராமல், ஒரு சீரான அருக்கத்தாற் பெற்றிருந்தால், அது எறியப்பட்டதாகக் கொண்ட நொடிக்கு ஒரு செகண்டிற்கு முன்னர், அச்சரம் தரைக் கருகிலே இருந்திருக்குமென்பது அதன் பொருள்.

உதாரணம் 12:—கிணற்றினுள்ளே கல்லைப்போட்ட ஒருவன் 3 செகண்டுகளுக்குப் பின்னர் அது தண்ணீரில் விழுந்த ஓசையைக் கேட்கிறான். கிணற்றிலே தண்ணீர் எவ்வளவு ஆழத்திலிருக்கிறது.

(ஆந்திரா 1934 மார்ச்சு)

ஒலியின் கதியோடு ஒப்பிடக் கல்லின் கதி மிகச் சிறியதாகையால் அதைக் கருத வேண்டியதில்லை.

கல்லின் துவக்க கதி $u=0$

அதன் சீரான முடுக்கம் $g=32$ அடி/செக$^2$.

அது சென்ற நேரம் $t=3$ செக. கல் கடந்து சென்ற தூரமாகிய கிணற்றில் தண்ணீர் மட்டத்தின் ஆழம் $S$ என்று கொள்வோம்.

$S=ut+\frac{1}{2}gt^2$

அதாவது $S=\frac{1}{2}\times 32\times 3^2=$ **144** அடி

உதாரணம் 13 :–ஓரிடத்தில் $g=978$ செ.மீ./செக$^2$.) அந்த இடத்திலே செகண்டு நாலத்தின் நீளம் காண்க.

(அண்ணாமலை 1933)

செகண்டு நாலத்தின் ஆட்டப்பொழுது 2 செகண்டுகள்.

ஆகையால் $2=2\pi\sqrt{l/g}$

அல்லது $1=\pi\sqrt{l/g}$

எனவே $\frac{1}{\pi^2}\times g=l.$

ஆகையால் செகண்டு நாலத்தின் நீளம்

$\frac{1\times 978}{3{\cdot}14\times 3{\cdot}14}=99{\cdot}19$ செ.மீ.

## வினாக்கள்

1. 32 அடி/செக$^2$, 15000 மைல்/மணி$^2$ என்னு மிரண்டு முடுக்கங்களில் பெரியது எது?

2. 100 மைல்/மணி$^2$ என்னும் முடுக்கத்தை அடி/செக$^2$ என்னும் அளவையிலே எடுத்துரைக்கவும்.

3. அடியையும் செகண்டையும் அலகுகளாகக் கொண்டபோது நிலக் கவர்ச்சியின் முடுக்கம் 32. இதையே கஜத்தையும் நிமிஷத்தையும் அலகுகளாகக் கொண்டு எடுத்துரைக்கவும்.

4. சீரான முடுக்கம் என்பதற்கு வரை விலக்கணம் கூறுக. சீரான முடுக்கம் கொண்டதொரு பொருள் ஏதேனுமொரு இடை நேரத்திலே கடந்து செல்லக்கூடிய தூரம் $S=ut+\frac{1}{2}at^2$ என்று காட்டுக.

(சென்னை 1927 மார்ச்சு).

5. பௌதிக ராசிகளை அளப்பதற்குரிய அலகுத் திட்டங்களை விவரித்துக் கூறுக. அவற்றில் எது விஞ்ஞானத்துக் கொத்தது? ஏன்? தனியியல் அலகுகளினின்று வேறுபட்ட மூல அலகுகளையும், வழியலகுகளையும், பிரயோக அலகுகளையும், விவரித்துக் கூறுக. மணிக்கு 40 மைல் கதியில் செல்லுமொரு வண்டித் தொடரின் கதி 1 நிமிஷம் 30 செகண்டுகளிலே மணிக்கு 25 மைல்களாகக் குறைந்து விடுகிறது. இது இந்த இடை நேரத்தில் எவ்வளவு தூரத்தைக் கடந்து சென்றிருக்கும். முடுக்கம் சீரானதென்று கொண்டு அதை இரண்டு திட்டங்களிலும் கணக்கிடுக.

(பாட்னு 1933).

6. சீரான அருக்கத்திற்குட்பட்டுச் செல்லுமொரு பொருள் 8 செகண்டுகளிலே 400 அடி தூரம் கடந்து

செல்லுகிறது. இதன் பிறகு அருக்கம் நின்றுவிட அடுத்த 2 செகண்டுகளிலே அது 84 அடி தூரம் கடந்து செல்லுகிறது. அதன் துவக்க கதியையும் அருக்கத்தையும் கணக்கிடுக.

7. ஒரு பொருள் 24 அடி/செக. என்னும் கதியோடு கிளம்பி 10 செகண்டுகளிலே 32 அடி/செக. என்னும் கதியை அடைந்தது. (1) 10 செகண்டுகளிலே சென்றதூரம் (2) அதன் முடுக்கம் (3) முதல் 5 செகண்டுகளிலே சென்ற தூரம் என்பவற்றைக் கணக்கிடுக.

8. துளங்கா நிலையிலிருந்து கிளம்பி, சீரான முடுக்கத்தோடு நேர் கோட்டிலே செல்லுமொருதுகள் கடந்து செல்லும் தூரம், நேரத்தின் இருமைக்கு ஏற்ப நேராக இருக்கும் என்று காட்டுக.

கீழ்க்கண்ட வாசகங்கள் சீரான முடுக்கத்திற்கு ஒத்தனவென்று காட்டி அச்சீரான முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுக.

கடந்து சென்றதூரம் அடிகளில் :— 10 20 30 40

நேரம் செகண்டுகளில் :— 1·58 2 24 2·74 3·16

(ஆக்ஸ் 1920).

9. ஒரு மோட்டார் வண்டி புறப்பட்டுச் செல்லும் போது 15 செகண்டுகளுக் கொருதரம் அதன் கதி காணப்பட்டது. அவை முறையே 5, 10, 15, 20, 25 மைல்/மணி. வண்டியின் கதி 40 மைல்/மணி என்றாகும் போது அது எவ்வளவு தூரம் சென்றிருக்கும்.

10. ஒரு பொருள் இயங்காத நிலையிலிருந்து கிளம்பி 5 செ.மீ/செக$^2$ என்னும் முடுக்கத்தோடு 10 செகண்டுகள் வரை செல்லுகிறது. அடுத்த 15 செகண்டு

களுக்கு இதே சீரான கதியோடு செல்லுகிறது. முடி வில் அது 5 செ.மீ/செக$^2$ என்னும் அருக்கத்தால் நிறுத் தப்படுகிறது. கடந்து சென்ற முழுத் தூரத்தையும், அதற்கான நேரத்தையும் கணக்கிடுக. இதை உருவக முறையாலும் கணக்கிடுக.

11. இயங்காத நிலையிலிருந்து கீழ்நோக்கித் தன் வயமாக விழும் ஒரு பொருளுக்குரிய கதி-கால வரையை முதல் 6 செகண்டுகளுக்கு வரைக. இதிலிருந்து அது மூன்றாவது செகண்டிலே கடந்த தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

12. ஒருதுகள் சீரான முடுக்கத்தோடு செல்லு கிறது. அது கிளம்பிய பின்னர் 4-வது, 6-வது செகண் டுகளிலே, அது முறையே 200 செ.மீ., 270 செ.மீ. கடந்து செல்லுகிறது. அதன் முடுக்கத்தையும் ஆரம்ப கதியையும் கணக்கிடுக.

13. ஒரு பொருள் 10 அடி/செக. என்னும் கதி யோடு கிளம்பி சீரான முடுக்கத்தோடு செல்லுகிறது. அது தனது 5-வது செகண்டிலே 25 அடி தூரம் கடந்து சென்றதானல் 5 செகண்டுகளினிறுதியில் அதன் கதியைக் காண்க.

14. ஒரு துகள் தனது நிலையினின்றும் கிளம்பி, 2 செமீ./செக.$^2$ என்னும் முடுக்கத்தோடு ஒரு நேர் கோட்டிலே செல்லுகிறது. இந்தத் துகளின் இயக்கத் தைக் குறிக்க ஒரு 'கதி-கால' உருவகம் வரைக. இந்த உருவகத்திலிருந்து எந்த நொடியிலும் துகள் கடந்து சென்றுள்ள தூரத்தை எவ்வாறு காணலாம் என்று காட்டுக. ஆறாவது ஏழாவது செகண்டுகளுக் கிடைப்பட்ட நேரத்திலே அது கடந்துசென்ற தூரத் தைக் காண்க.

(சென்னை 1925 மார்ச்.)

15. சீரான முடுக்கத்தோடு சென்றதொரு வண்டித் தொடரின் கதி கால் மைல் தூரத்திற்குள்ளே மணிக்கு 15 மைலிலிருந்து 30 மைலாக உயர்ந்துவிட்டது. அதன் முடுக்கத்தையும் அந்தக் கால் மைலைக் கடக்க ஆன நேரத்தையும், பாதி தூரத்திலே அதன் கதியையும் கணக்கிடுக.

16. ஒரு மோட்டார் வண்டியின் கதி 60 கஜ தூரத்திற்குள்ளே மணிக்கு 20 மைலில் இருந்து 30 மைலாக அதிகரித்தது. முடுக்கம் சீரானதென்று கொண்டு, அதன் கதி மணிக்கு 50 மைல் ஆவதற்கு முன், வண்டி எவ்வளவு தூரம் கடந்து செல்லுமென்று காண்க.

17. மேனோக்கி எறியப்பட்டதொரு கல் 10 செகண்டுகள் கழித்து கீழேவந்து விழுகிறது. அது எவ்வளவு உயரம் மேலெழுந்ததென்றும், எவ்வளவு கதியோடு தரையில் வந்து மோதியதென்றும் காண்க.

18. 2 கிராம் எடைகொண்ட எஃகு ரவை துளங் காகிலையிலிருந்து கிளம்பி 100 செ.மீ. கீழேயுள்ளதொரு எஃகுக் கட்டைமீது விழுந்து, 90 செ.மீ. மீண்டு மேலே எழுந்தது. அது எவ்வளவு கதியோடு (*a*) கட்டைமீது மோதுகிறதென்றும் (*b*) எவ்வளவு கதியோடு மீண்டதென்றும் கணக்கிடுக.

(சென்னை மார்ச்சு 1924).

19. ஒரு துப்பாக்கி ரவை 1 அடி கனமுள்ளதொரு சுவரை 1500 அடி/செக. என்னும் கதியோடு மோதித் துளைத்து $\frac{1}{1000}$ செகண்டிலே வெளிப்படுகிறது. சுவரில் மோதியதால் ரவையின் கதி எவ்வளவு குறையும்.

20. நிலக்கவர்ச்சியின் முடுக்கம் 978 செ.மீ/செக$^2$ என்று கூறினால் என்ன பொருள் என்பதைத் தெளிவாக விளக்கிக் கூறுக.

ஒரு சரம் செங்குத்தாக மேனோக்கி 24·45 மீடர்/செக. என்னும் கதியுடனே எய்யப்படுகிறது. அது எவ்வளவு உயரம் மேலே செல்லக்கூடுமென்றும், அவ்வாறு எழுவதற்கு எவ்வளவு நேரமாகுமென்றும் கணக்கிடுக. (காற்றின் சிக்கலை ஒதுக்கிவிடலாம்.)

(சென்னை 1927 செப்.)

21. ஒரு வஸ்துவின் துவக்க கதியும் முடுக்கமும் கொண்டு, அது ஒரு இடைநேரத்திலே செல்லும் தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

120 அடி உயரமுள்ள குன்றின் உச்சியிலிருந்து 160 அடி/செக. கதியுடன் ஒரு கல் மேனோக்கி எறியப்படுகிறது. அது குன்றின் உச்சிக்குமேலே எவ்வளவு உயரம் கிளம்பும். அது எவ்வளவு நேரம் கழித்து குன்றினடியிலே விழும். குன்றின் உச்சிக்குமேலே 80 அடி உயரத்திலிருக்கும்போது கல்லின் கதி யாது.

(சென்னை 1921 மார்ச்.)

22. 'கதி', 'முடுக்கம்' இவற்றின் அலகுகளுக்குரிய வரைவிலக்கணங்களைக் கூறுக.

$v^2 = u^2 + 2as$. என்னும் வாய்பாட்டை வடித்தெடுக்கவும்.

ஒரு கோபுரத்தின் உச்சியிலிருந்து ஒரு கல் மேனோக்கி 48 அடி/செக. என்னும் கதியோடு எறியப்பட்டு $5\frac{1}{2}$ செகண்டுகளிலே பூமியில் வந்து விழுந்தது. கோபுரத்தின் உயரம் காண்க.

(அண்ணாமலை 1933).

23. நிலக் கவர்ச்சிக்குட்பட்டுத் தன்வயமாய்விழும் ஒரு பொருள், சீரான முடுக்கம் கொண்டதென்பதைக் காட்டுவதற்கான, ஒரு பரிசோதனையை விவரித்து விளக்குக.

ஒரு பொருளை மேனோக்கி 10 மீடர்/செக. என்னும் கதியோடு எறிந்தால், அது எவ்வளவு உயரம்வரை மேலே செல்லும்? அதற்கு எவ்வளவு நேரமாகும்? $g = 981$ செமீ./செக$^2$.

(ஆக்ஸ். 1925).

24. கிணற்றினுள்ளே ஒரு கல்லைப் போட்ட 4 செகண்டுகள் கழித்து கல் தண்ணீரில் விழுந்த சத்தம் கேட்டது. காற்றிலே ஒலியின் கதி 1000 அடி/செக. என்று கொண்டு கிணற்றில் எவ்வளவு ஆழத்திலே தண்ணீர் இருக்கிறதென்று காண்க.

25. ஒரு மலையுச்சியிலிருந்து அடிவாரத்திலிருக்குமொரு ஏரியிலே ஒரு கல் போடப்பட்டது. 9·48 செகண்டுகளுக்குப் பின்னர் கல் தண்ணீரிலே விழுந்த சத்தம் கேட்டது. அப்போது காற்றிலே ஒலியின் கதி 1152 அடி/செக. என்றும், ஏரியின் தண்ணீர் மட்டத்திற்கு மேலே மலையுச்சியின் உயரம் 1152 அடியென்றும் கொண்டு நிலக்கவர்ச்சியின் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடவும்.

26. கீழ்நோக்கி விழும் ஒரு பொருள், 20 அடி விலகியுள்ள இரண்டு புள்ளிகளினிடைத் தூரத்தை, 1 செகண்டிலே கடந்துவிடுகிறது. இதன் பின்னரும் 20 அடி விலகியுள்ள மற்றுமிரண்டு புள்ளிகளின் இடைவெளியை $\frac{1}{5}$ செகண்டிலே கடந்தது. இவற்றிலே முதற் புள்ளிக்கும் இறுதிப் புள்ளிக்குமிடைப்பட்ட தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

27. ஒரு கல் மேனோக்கி 96 அடி/செக. என்னும் கதியோடு எறியப்பட்டது. அது (i) எவ்வளவு நேரத்திற்குப் பின்னர் ($a$) மேனோக்கி ($b$) கீழ்நோக்கி 32 அடி/செக. என்னும் கதியோடு செல்லுகிறது.

(ii) அது எவ்வளவு உயரத்திற்குமேலெழும்புகிறது.
(iii) தரையை மோதும்போது அதன் கதி யாது?
(iv) எவ்வளவு நேரம் அது தரைக்குமேலே நிற்கிறது?
என்று கணக்கிடுக.

28. செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கி விழும் ஒரு பொருளுக்கு $S = ut + \frac{1}{2} gt^2$; $v^2 = u^2 + 2 gS$. என்னும் சமீகரணங்களை வடித்தெடுக்கவும்.

கீழே விழும் ஒருதுகள் தனது கடைசி செகண்டிலே 65·1 மீடர் தூரம் விழுகிறது. அது எவ்வளவு உயரத்திலிருந்து விழுந்தது என்றும், அதற்கு எவ்வளவு நேரம் ஆயிற்று என்றும் காண்க.

(சென்னை மார்ச். 1933)

29. ஒரு கோபுரத்தின் உச்சியிலிருந்து விழுந்ததொரு கல் இறுதியிலுள்ள 192 அடி தூரத்தை 1 செகண்டிலே கடக்கிறது. கோபுரத்தின் உயரம் யாது?

30. 200 அடி உயரமுள்ளதொரு கோபுரத்தின் உச்சியிலிருந்து ஒரு கல் கீழே விழுகிறது. அதன் கதி (i) பாதி தூரத்திலும் (ii) பாதி நேரத்திலும் யாதாக இருக்கும்?

31. 79 செ.மீ. நீளங் கொண்டதொரு நாலம் 64·2 செகண்டுகளிலே 36 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. '$g$'யைக் காண்க.

32. ஒரு சாமானிய நாலத்தின் விஷயத்திலே 'பொழுது', 'வீச்சு' என்ற பதங்களின் பொருளினின்னதென்று விளக்குக. உன்னுடைய ஆய்வுச் சாலையிலே நீ எவ்வாறு 2·5 செக. பொழுதாகக் கொண்டதொரு சாமானிய நாலத்தைத் தயார் செய்வாய் என்று விவரிக்க. சாமானிய நாலத்தின் நீளத்தையும் பொழுதை

யும் திருத்தமாக அளப்பதற்குரிய முறையை விவரங்களுடன் விளக்கிக் கூறுக.

(சென்னை 1923 மார்ச்சு).

33. சாமானிய நாலம் என்பது என்ன? அதைக் கொண்டு ஓரிடத்திலுள்ள நிலக்கவர்ச்சியை எவ்வாறு நிர்ணயிக்கலாம். நிலக்கவர்ச்சி 978 செ.மீ./செக.$^2$ இருக்குமிடத்திலே ஒரு சாமானிய நாலம் ஒரு செகண்டிலே பாதியாட்டம் ஆடுகிறது. அதை நிலக்கவர்ச்சி 982 செ.மீ./செக.$^2$ உள்ள இடத்திற்குக் கொண்டுபோனல் ஒரு நாளிலே அதன் ஆட்டங்களிலே எத்தனை மிகும் அல்லது குறையும்.

(சென்னை 1926 மார்ச்சு).

34. ஒரு சாமானிய நாலத்தைக் கொண்டு '$g$'யின் மதிப்பை எவ்வாறு காணலாம் என்று விளக்குக.

ஒரு கடியாரத்தின் நாலம் செகண்டு கொண்டபோது அக்கடியாரம் சரியாக மணிகாட்டி வந்தது. ஒருமுறை இது நாளைக்கு 4 நிமி. இழப்பதாகத் தெரிந்தது. நாலத்தின் நீளத்தை மாற்றவே அது நாளைக்கு $2\frac{1}{2}$ நிமி. வேகமாக ஓடிற்று. செகண்டு நாலத்தின் நீளம் 99·177 செ.மீ. ஆனல் இந்த நாலத்தின் நீளம் எவ்வளவு மாற்றப்பட்டது.

(சென்னை 1920 அக்.)

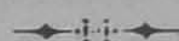
35. ஓரிடத்திலே $g$-யின் மதிப்புக் காணுவதற்காக நீ செய்யக்கூடியதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

சென்னையிலே $g = 978{\cdot}3$ செ.மீ./செக$^2$. இங்கேயுள்ளதொரு செகண்டு நாலத்தை லண்டனுக்குக் கொண்டுபோனல் ஒரு நாளில் அது எத்தனை செகண்டு நேரத்தை இழக்கும்.

லண்டனில் $g = 981$ செ.மீ./செக$^2$.

(ஆந்திரா 1932).

# அத்தியாயம் 4



## நியூட்டன் இயக்க விதிகள்

## (Newton's Laws of Motion)

நிறை, இயக்கம், உந்தம் (Momentum) என்னும் பதங்கள் :—ஒவ்வொரு பொருளிலும் அதன் பருமைக்குத் தக்கவாறும், அது செய்யப்பட்டிருக்கும் பதார்த்தத்திற்குத் தக்கவாறும், ஒரு பண்பு அதனிடம் பொருந்தி இருப்பதை நாம் பல வழிகளிலே உணரலாம். ஒரே பதார்த்தத்தாலான ஆனால் பருமையில் பெரிதும் வேறுபடுகிற இரண்டு குண்டுகளை, ஒரே நீளமுள்ள சரடுகளால் கட்டித் தொங்க விடுவோம். இதிலே மிகக் குறைவான பிரயாசையைக் கொண்டு சிறிய குண்டை வேகமாகத் தள்ளலாம். ஆனால் பெரிய குண்டைத் தள்ளுவதற்குச் சற்று அதிகப் பிரயாசை வேண்டியிருக்கும். இதற்குக் காரணம் சிறிய குண்டைவிடப் பெரிய குண்டில் அதிகப் பொருள் நிறைந்திருப்பதே என்று கூறப்படும். இவ்வாறே ஒரே பருமையுள்ள ஒரு கட்டைக் குண்டையும் ஈயக் குண்டையும் கொண்டு பரிசோதித்தால், முன்னதைவிட பின்னதை அசைப்பதற்கு அதிக முயற்சி வேண்டியிருப்பது விளங்கும். இங்கே இரண்டு குண்டுகளின் பருமையும் சமமாயினும் மரக் குண்டைவிட ஈயக்குண்டில் பொருள் நெருங்கி நிறைந்திருக்கிறது. இவ்வாறு நிறைந்துள்ள பொருளையே அக்குண்டுகளின் 'நிறை' என்பார்கள். ஒரே பதார்த்தத்தாலான சிறிய குண்டைவிடப் பெரிய குண்டு அதிக நிறை கொண்டது. ஒரே பருமையுள்ள மரக் குண்டைவிட ஈயக் குண்டு அதிக நிறை கொண்டது. பதார்த்தங்களுக்குள் ஏற்படும் பொருள் நெருக்க வேற்றுமையைப் பற்றிப் பின்னேரிடத்தில் காண்போம். இப்

போது நிறையைப்பற்றியும், அதனால் பொருள்களிலேற் படும் மற்ற பண்புகளைப் பற்றிய மட்டுமே பேசுவோம்.

மற்றும் ஒரே பொருளை மெதுவாக இயக்குதலைவிட வேகமாக இயக்குவதற்கு அதிகப் பிரயாசை வேண்டி யிருக்கிறது என்பதை நாம் அறிவோம். எனவே ஒரு பொருளில் கதி மாற்றத்தை யுண்டாக்குவதற்கு வேண் டிய பிரயாசை (1) அப்பொருளின் நிறையின் மீதும் (2) அதில் உண்டாக்க வேண்டிய கதி மாற்றத்தின் மீதும் சார்ந்திருக்கிறது என்று காண்கிறோம். அது இவ்விரண்டுக்கும் ஏற்ப நேராகவிருக்கும். ஆகவே இப்பிரயாசையால் பொருளில் ஏற்படும் விளைவை, அதன் நிறையையும், கதியையும் பெருக்கி வந்த விளை வால் குறிப்பிடுவார்கள். இதற்கு உந்தம் (Momentum) என்று பெயர். ஒரு பொருளின் நிறை $M$ என்றும் அதன் கதி $v$ என்றும் கொண்டால், அப்பொருளின் உந்தம் $Mv$ ஆகும். கதியிற்குத் திசையுண்டு. ஆகை யால் கதியை உட்கொண்ட உந்தத்திற்கும் திசையுண்டு. ஒரு திசையில் இயங்கும் பொருளின் உந்தத்தை மிகைக் குறியுடன் கொண்டால், எதிர்த்திசையில் இயங்கும் பொருளின் உந்தத்தைக் குறைக்குறியுடன் குறிக்க வேண்டும். ஒரே திசையில் இயங்கும் பல பொருள் களின் உந்தங்களைக் குறியியல் முறைப்படி கூட் டலாம். அலகு கதியோடு இயங்கும் அலகு நிறையுள்ள பொருளின் உந்தமே உந்த-அலகு ஆகும். மெட்ரிக் திட்டத்தில் செகண்டிற்கு ஒரு சென்டிமீடர் கதியோடு செல்லும் ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பொருளின் உந்தமே, உந்த-அலகு ஆகும். பிரிட்டிஷ் திட்டத்தில் செகண் டிற்கு ஒரு அடி கதியோடு செல்லும் ஒரு பவுண்டு நிறையுள்ள பொருளின் உந்தமே உந்த-அலகு ஆகும்.

கீழ்க்கண்ட மூன்று விதிகளும் இயக்கவியலுக்கு அடிப்படையானவை. இவற்றை முதன் முதலில் நியூட்

டன் கண்டு திருத்தமாக வெளியிட்டார். ஆகையால் இவை நியூட்டன் இயக்கவிதிகள் எனப்படும். இவற்றை நிரூபிப்பது முடியாது. ஆனாலும், இவற்றை அடிப்படையாகக்கொண்ட கணக்கீடுகளெல்லாம் அநுபவத்திற்கு முரணாத முடிபுகளைத் தருவதால், இவற்றின் உண்மை நிறுவப்பட்டது.

**(1)** ஒவ்வொரு பொருளும், தன்மீது சக்திகள் தொழிற்படாத வரையில், தனது அசைவில்லாத நிலையிலோ, அல்லது கதியோடியங்கும் நிலையிலோ இருக்க முயலுகிறது.

**(2)** ஒரு பொருளில் ஏற்படும் இயக்க மாறுபாடு அதன்மீது தொழிற்படும் சக்திக்கு ஏற்பவுள்ளது. மற்றும், இம் மாறுபாடு சக்தி தொழிற்படும் திசையிலே நிகழ்கிறது.

**(3)** ஒவ்வொரு தொழிலுக்கும் சமமான ஆனல் எதிரான மறுதொழில் ஒன்றுண்டு. அல்லது இரண்டு பொருள்களின் பரஸ்பர தொழில்கள் சமமாகவும் எதிர்த் திசைகளிலும் இருக்கும்.

முதல் விதி:—அசையாத நிலையிலிருக்கும் ஒரு பொருள் தன்மீது ஒரு புற ஆக்கம் (external agency) தொழிற்பட்டாலன்றி, தனது நிலையிலேயே இருக்க முயலும் என்பதை, நாம் அன்றாட அநுபவத்தில் காண்கிறோம். அசையா நிலையில் இருந்த ஒரு பொருள் இயங்கத் தொடங்கும்போது அதை இயக்கிய ஆக்கம் நமக்குப் புலனாகலாம். அல்லது புலனாகாதிருந்தாலும் இருக்கலாம். நியூட்டன் இந்நிகழ்ச்சி ஒருபுற-ஆக்கத்தாலேயே நிகழ முடியுமென்று கொண்டு, அதற்கு சக்தி (force) யென்று பெயரிட்டார்.

மேலும் அவர் இந்தக் கருத்தைப் பின்னும் விரிவுபடுத்திச் சீரான கதியோடு இயங்கும் பொருள்களும்

தம்மீது புற-ஆக்கங்கள் தொழிற்படாத வரையில், தமது நிலையிலேயே இருக்க முயலும் என்று கூறினார். இதைப் பரிசோதனையால் காட்டுவது முடியாது. ஏனென்றால் புறச்சக்திகளுக்குட்படாத ஒரு பொருளை இவ்வுலகில் காணமுடியாது. ஆனால் இவ்விதியைச் சில உதாரணங்களால் விளக்க முடியும். பிரயாணி ஒருவர் டிராம் வண்டியிலிருந்து இறங்கும்போது, அவரது உடலும் டிராம் வண்டியின் கதியோடு சென்று கொண்டிருக்கிறது. ஆகையால் அவரது கால்கள் தரையைத் தொட்டவுடன் அவர் சற்று முன்னோக்கி ஓடியோ அல்லது பின்னால் சாய்ந்தோ, கீழே விழாமல் தப்பித்துக்கொள்ள வேண்டும். மற்றும் ஓடுகிற ரயில் வண்டியிலே நாம் உட்கார்ந்திருக்கும்போது வண்டிச் சட்டென்று நின்றால், வண்டியின் அடித்தளமும் நமது உடலின் அடிப்பாகமும் நின்றுவிட, உடலின் மேற்பாகம் மட்டும் முன்னோக்கிச் செல்ல முயலுவதால், நாம் வண்டியோடிய திசையிலேயே முன்னோக்கி விழுகிறோம். இவ்வாறாகப் பொருள்களிடத்துள்ள தமது இயக்கத்தைத் தாமாக மாற்றிக்கொள்ள வியலாத குணத்தையே பொருள்களின் ஜடத்வம் (Inertia) என்று கூறுவார்கள். பொருள்களுக்கு இந்த ஜடத்வம் என்னும் குணம் உண்டு என்பதையே இம்முதல் விதி கூறுகிறது. மற்றும் 'பொருள்களின் இயக்கத்தை மாற்றுவது அதாவது பொருள்களில் முடுக்கத்தை யுண்டாக்குவதே 'சக்தி' யென்று சக்தியின் வரைவிலக்கணத்தையும் இவ்விதி உள்ளடக்கி இருக்கிறது.

நியூட்டன் இரண்டாவது விதி :-இவ்விதி சக்தியை அளப்பதற்கு ஒரு வழி காட்டுகிறது. இயக்க மாறுபாடு என்பது ஒரு பொருளின் உந்தத்தில் ஏற்படும் மாறுபாட்டு விகிதமேயாகும். எனவே இவ்விரண்டாவது விதிப்படி ஒரு பொருளில் ஏற்படும் உந்தமாறுபாட்டு

விகிதம், அதாவது அப்பொருளின் உந்தத்தில் ஒரு செகண்டிலேற்படும் மாறுபாடு, அப்பொருளின் மீது தொழிற்படும் சக்திக்கு ஏற்ப இருக்கும். ஒரு பொருளின் உந்தமென்பது அதன் நிறையையும் கதியையும் பெருக்கிவந்த தொகை என்று முன்பு கூறினோம். ஒரு பொருளின் நிறை ஒரு மாறிலியாகும். எனவே உந்த மாறுபாடு என்பது அப்பொருளின் கதி மாற்றத்தினால் நிகழுவதேயாகும். கதிமாற்றமே முடுக்கமாதலின் உந்தமாறுபாடென்பது முடுக்கத்தால் நிகழும். எனவே ஒரு பொருளின் உந்த மாறுபாட்டு விகிதம் என்பது அப்பொருளின் நிறையையும் அதன் முடுக்கத்தையும் பெருக்கிவந்த தொகையேயாகும். இவ்வுந்த மாறுபாட்டு விகிதம் அப்பொருளின்மீது தொழிற்படும் சக்திக்கு ஏற்பவுள்ளது என்று இவ்விதி கூறுகிறது. இதையே கீழ்க்கண்டவாறு குறியியல் முறையிலே காட்டலாம்.

$$F = k.\,m.\,a.$$

இதில் F என்பது தொழிற்படும் சக்தி ; $m$ என்பது பொருளின் நிறை ; $a$ என்பது அதிலேற்படும் முடுக்கம். $k$ என்பது ஒரு மாறிலி (Constant of proportion). இது நாம் எடுத்துக்கொள்ளும் அலகுகளுக்குத் தக்கவாறு அமையும். நாம் இதுவரை சக்தியை அளப்பதற்குரிய அலகு ஒன்றைக் கூறவில்லை. எனவே சக்தி அலகின் வரைவிலக்கணத்தை, மேற்கண்ட உறவிலிருந்து மிக எளிதாய் வரும்படி, நாம் அமைத்துக்கொள்ளலாம். அதாவது $k$ யின் மதிப்பு ஒன்று ஆகும்படி செய்துவிடலாம். இவ்வாறு செய்துவிட்டால், சக்தியின் அளவையுட்கொண்ட உறவுகளிலே, இந்த $k$ என்னும் மாறிலி இராசி இடைப்பட்டு, நமக்குத்தொல்லை விளைவிக்காது. மேலேகண்ட உறவிலே $m=1$, $a=1$ ஆகும்போது $F=1$ ஆவதாக வைத்துக்கொண்டால், $k = 1$

என்றுஆகிவிடும். இதனால் $F = ma$ என்று இந்த உறவு எளிதாய்ப் போய்விடும். இதிலிருந்து சக்தி அலகின் வரைவிலக்கணத்தைக் கூறும் முறை வருமாறு :—

"ஒரு அலகு நிறைகொண்ட பொருளிலே ஒரு அலகு முடுக்கத்தை யூட்ட வல்லது ஒரு அலகு சக்தியாகும்."

மெட்ரிக் திட்டத்திலே ஒரு கிராம் நிறைகொண்ட பொருளில் ஒரு செகண்டிலே, செகண்டிற்கு ஒரு சென்டிமீடர் முடுக்கத்தை யூட்ட வல்லது ஒரு அலகு-சக்தியாகும். இச்சக்திக்கு ஒரு டைன் (Dyne) என்று பெயர். ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பொருளின் மீது ஒரு டைன் கொண்ட சக்தி தொழிற்பட்டால், அதன் கதி செகண்டிற்கு ஒரு செண்டிமீடர் வீதம் அதிகரிக்கும். இதே சக்தி இரண்டு கிராம் நிறையுள்ள பொருளின்மீது தொழிற்பட்டால், அதன் கதி செகண்டிற்கு அரை சென்டிமீடர் வீதம் அதிகரிக்கும். மற்றும் இதே சக்தி அரை கிராம் நிறைகொண்ட பொருளின் மீது தொழிற்பட்டால், அதன் கதி செகண்டிற்கு இரண்டு சென்டிமீடர் வீதம் அதிகரிக்கும்.

பிரிட்டிஷ் திட்டத்தின்படி ஒரு பவுண்டு நிறையுள்ள பொருளில் ஒரு செகண்டிலே செகண்டிற்கு ஒரு அடி முடுக்கத்தை யுண்டாக்க வல்லது ஒரு அலகு-சக்தியாகும். இதற்கு பவுண்டல் (Poundal) என்று பெயர். ஒரு பவுண்டல் கொண்டதொரு சக்தி, இரண்டு பவுண்டு நிறையுள்ள பொருளின்மீது தொழிற்பட்டால், அப்பொருளின் கதி செகண்டிற்கு அரை அடி வீதம் அதிகரிக்கும்.

**இயக்கவியல் அலகுகளும் கவர்ச்சியியல் அலகுகளும் :—**நாம் மேலே கண்ட அலகுகளிரண்டும் இயக்கவியல் அலகுகள் அல்லது இயற்கை யலகுகள் எனப்

படும். இவை நிற்க கவர்ச்சியியல் அலகுகள் என்ற ஒரு வகை அலகுகள் சிலபோது கையாளப்படுகின்றன. அவை வருமாறு :—அந்தரத்திலே தன் வயமாக விடப் பட்ட ஒவ்வொரு பொருளும் $g$ என்னும் முடுக்கத்தோடு கீழிறங்குகிறதென்பதை நாமறிவோம். இதற்குக் காரணம் பூமியினால் அப்பொருளின்மீது தொழிற்படும் கவர்ச்சி சக்தியேயாகும். ஒரு அலகு நிறைகொண்ட பொருளின்மீது தொழிற்படும் இக்கவர்ச்சி சக்தியை ஒரு சக்தியலகாகக் கொள்ளலாம். இதையே கவர்ச்சி அலகு என்று கூறுவார்கள். ஒரு அலகு நிறையிலே இச் சக்தி $g$ அலகுகள் முடுக்கத்தை உண்டாக்குவதால், ஒரு கவர்ச்சி அலகுச் சக்தி $= g$ இயக்கவியல் அலகுச் சக்தி ஆகும். மெட்ரிக் திட்டத்திலே இதைக் கிராம்-எடை (Gram weight) என்று கூறுவார்கள். ஒரு கிராம் நிறையைப் பூமியிலிருந்து எடுக்கும்போது நமது கையின்மீது உறைக்கும் சக்தியே ஒரு கிராம் எடையாகும். இத் திட்டத்திலே $g = 981$ செ.மீ./செக$^2$. ஆகையால் 1 கிராம் எடை $= 981$ டைன் ஆகும். பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலே இவ்வலகிற்கு ஒரு பவுண்டு எடை என்று பெயர். ஒரு பவுண்டு நிறையைப் பூமியிலிருந்து எடுக்கும்போது நமது கையின்மீது உறைக்கும் சக்தியே ஒரு பவுண்டு எடையாகும்.

இத்திட்டத்திலே $g = 32$ அடி/செக.$^2$ ஆகையால் 1 பவுண்டு எடை $= 32$ பவுண்டல் ஆகும்.

இயக்கவியல் சக்தி அலகுகள் மற்ற அடிப்படையான மூல அலகுகளினின்று வடிக்கப்பட்டவை. எனவே இவை தனியியல் தன்மை வாய்ந்தன. இவற்றின் அளவு எப்போதும் எவ்விடத்தும் ஒன்றாகும். கவர்ச்சி அலகுகள் பூமியின் கவர்ச்சி முடுக்கமாகிய $g$-யை உட்கொண்டிருக்கின்றன. இந்த $g$ யின் மதிப்பு, பூமி மட்டத்திலே இடந்தோறும் மாறுகிறது. எனவே, இக்

கவர்ச்சி அலகுகளின் அளவும் இடத்துக்கிடம் மாறுத லடையும். எனவே, யாதானுமொரு சக்தியின் அள வைக் கவர்ச்சி அலகுகளிலே ஓரிடத்தில் கண்டால், அச் சக்தியின் மதிப்பை அவ்விடத்துக்குரிய $g$ யால் பெருக்கி இயக்கவியல் அளவுகளாக மாற்றிய பின்பே, அச் சக்தியின் அளவை வேறிடங்களில் கையாள வேண்டும்.

நிறையும் எடையும்:—ஒரு பொருளின் நிறை என்பது அப்பொருளில் நிறைந்துள்ள பதார்த்தங் களின் அளவு ஆகும். ஒரு பொருளின் எடை என்பது அப்பொருளைப் பூமியை நோக்கி இழுக்கும் சக்தியின் அளவு ஆகும். ஓரிடத்தில் பூமியின் கவர்ச்சி முடுக்கம் $g$ ஆனால், முறையே $m_1$ கிராம், $m_2$ கிராம் நிறையுள்ள பொருள்களை, பூமியை நோக்கி இழுக்கும் சக்திகள் அந்த இடத்தில் $m_1 g$, $m_2 g$ ஆகும். எனவே ஓரிடத் திலுள்ள பொருள்களின் எடைகள் முறையே அவற் றின் நிறைகளுக்கு ஏற்ப உள்ளன என்று தெரிகிறது.

பூமியின் கவர்ச்சி முடுக்கம் எல்லாவிடங்களிலும் ஒன்ருக இருப்பதில்லை. இதன் மதிப்பு, பூமியின் நடு வரைக்கு அருகில் நீச (minimum) நிலையையும், துரு வங்களுக்கு அருகில் உச்ச (maximum) நிலையையும் அடைகிறது. எனவே ஒரு பொருளின் எடையும், நடு வரைக்கு அருகில் நீச மதிப்பையும், துருவங்களுக்கு அருகில் உச்ச மதிப்பையும் பெறும். வில் தராசு இவ் வெடையை அளப்பதற்குரிய கருவியாகும். ஒரு நுணுக் கமான வில்தராசைக் கொண்டு, ஒரு பொருளின் எடையை நடுவரைக்கு அருகிலுள்ள இடத்தில் 200 கிராம் என்று கண்டால், ஏறக்குறைய $51\frac{1}{2}$ அக்ஷபாகை கள் வடக்கே விலகியுள்ள லண்டன்மா நகரில், இதன் எடை $\frac{6}{10}$ கிராம் அதிகமாக இருக்கும். வட துருவத் திற்கருகிலோ இவ்வெடை 1 கிராம் அதிகமாகும்.

சாமானிய தராசுகளில் நாம் நிறுக்கும்போது இரண்டு பொருள்களின் எடையைத்தான் ஒப்பிடுகிறோம். ஆனால் அவை இரண்டும் ஒரே இடத்தில் இருப்பதால், $g$-யின் மதிப்பு இரண்டுக்கும் ஒன்றேயாகும். அதனால் அவற்றின் நிறைகளும் ஒப்பிடப்படுகின்றன. ஆகையால் சாமானியத் தராசில் நிறுத்தால் ஒரு பொருளின் நிறை, இப்பிரபஞ்சத்திலே எந்த இடத்திலும் ஒன்றாகவே இருக்கும். இதுவே நிறையளவையின் கேவலத் தன்மையைக் காட்டுகிறது. ஆகையால் விஞ்ஞானத் துறையிலே இந்நிறையையும், இதனின்றும் வடிக்கப்பட்ட இயக்கவியல் சக்தி-அலகுகளையுமே கையாளுகிறோம். ஆனால் அன்றாட வாழ்க்கையில் எடையும், அதனின்றும் வடிக்கப்பட்ட கவர்ச்சி சக்தி அலகுகளுமே பெரிதும் கையாளப்படுகின்றன.

ஒரு பொருளில் நிறைந்துள்ள பதார்த்தத்தின் அளவை 'நிறை' என்றும், அப்பொருளைப் பூமியினின்றும் 'எடுக்கும்' போது நமக்குப் புலப்படும் சக்தியை 'எடை' என்றும் கூறப்படும்.

எல்லாப் பொருள்களும் பூமியை நோக்கி இழுக்கப்படுகின்றன என்றும், இதற்குப் பூமியின் கவர்ச்சியே காரணம் என்றும், நாம் முன்பு கூறினோம். இது இன்னும் விரிவான மற்றொரு விதிக்குட்பட்ட சிறப்பு வகையாகும். விரிவான விதிக்கு 'கவர்ச்சி விதி' (Law of gravitation) என்று பெயர். இதை நியூட்டன் கண்டு முதலில் வெளியிட்டார். அதை எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு:-

இப் பிரபஞ்சத்திலுள்ள ஒவ்வொரு பதார்த்தத் துகளும், மற்ற துகள்களைக் கவருகிறது; இக் கவர்ச்சி சக்தி துகள்களின் நிறைப் பெருக்கத்திற்கு ஏற்பவும்,

அவற்றினிடைப்பட்ட தூரத்தின் வர்க்கத்திற்கு எதிர் விகிதமாகவும் இருக்கிறது.

இதையே கணக்கியல் சங்கேதங்களால் எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு :—

$$F = G \frac{m_1 \ m_2}{d^2}$$

இதில் F என்பது இரண்டு துகளுக்கிடையேயுள்ள கவர்ச்சி சக்தி. $m_1, m_2$ என்பன முறையே இரண்டு துகள்களின் நிறையாகும். $d$ என்பது அவற்றினிடைப்பட்ட தூரம். G என்பது ஒரு மாறிலி. இதைக் கவர்ச்சி மாறிலி (Gravitational Constant) என்று கூறுவர்.

பூமியும் தன்மீதுள்ள பொருள்களைத் தன் மையத்தை நோக்கி இழுக்கிறது. மேலும் அதன் நிறை முழுதும் அதன் மையத்தில் திணிந்திருப்பதாகக் (Concentrated) கொண்டு கணக்கிடலாம். எனவே மேற்கண்ட விதியைப் பூமியின் மீதுள்ள ஒரு பொருளின் விஷயத்தில் பிரயோகித்தால்

$$F = G. \frac{M. \ m.}{R^2} \text{ என்றாகும்.}$$

இதில் M என்பது பூமியின் நிறை. $m$ என்பது பொருளின் நிறை. R என்பது பூமியின் ஆரம். பூமியின் வடிவம் செம்மையான ஒரு கோளமாய் இராமல், துருவப் பிரதேசங்களில் சிறிது தட்டையாய் இருப்பதால், அந்தப் பிரதேசங்களில் பூமியின் ஆரம் நடுவரைக்கு அருகிலுள்ள ஆரத்தை விடச் சிறியதாகும். இதனால் பூமியின் கவர்ச்சி சக்தி, நடுவரைப் பிரதேசங்களைவிட துருவப் பிரதேசங்களில் சற்று அதிகமாக இருக்கும். இக் கவர்ச்சி சக்தி வேறுபடவே, அதனு

லேற்படும் முடுக்கமாகிய $g$-யின் மதிப்பும் வேறுபடும். இதைப் பற்றியே நாம் முன்னல் எடுத்துக் கூறினோம்.

பூமியின் நிறையும் செறிவும் :—மேலேகண்ட விதியிலே G-யின் மதிப்புத் தெரிந்தால் பூமியின் நிறையையும் செறிவையும் கணக்கிட்டு விடலாம். காவண்டிஷ் (cavendish) இவ்வாறே செய்தார். பூமியின் மேற்பரப்பிலுள்ள ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பொருளைப் பூமி கவரும் சக்தி $\frac{GM}{R^2}$ ஆகும்.

ஆனல் இதன் மதிப்பு $g$ டைன் என்று நாமறிவோம்.

ஆகையால் $\frac{GM}{R^2} = g$ ஆகும்.

$M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ என்று நாம் கொள்ளலாம்.

இதில் $\rho$ என்பது பூமியின் செறிவு.

எனவே $\frac{4}{3}\pi G R \rho = g$.

ஆகையால் $\rho = \frac{3g}{4\pi GR}$

G யின் மதிப்பை காவண்டிஷ் இரண்டு ஜதையப் குண்டுகளைக் கொண்டு அளந்து கணக்கிட்டு, $G = 6{\cdot}66 \times 10^{-8}$ என்று கண்டார்.

$$\text{எனவே } \rho = \frac{3 \times 981}{4\pi \times 6{\cdot}66 \times 10^{-8} \times 4000 \times 5280 \times 30{\cdot}48}$$

$$= 5{\cdot}46 \text{ கிராம்/செ.மீ. ஆகும்.}$$

மூன்றாவது இயக்க விதி :— நாம் இதுவரை பொருள்களின் மீது தொழிற்படும் சக்திகளைப் பற்றிப் பேசினோம். ஆனல் இச்சக்திகள் எவ்வாறு ஏற்படுகின்

றன என்று நாம் கவனிக்கவில்லை. இச்சக்திகள் மற்றொரு பொருளின் ஆக்கத்தினுல் ஏற்படுகின்றன என்பதை மட்டும் பொதுவாகக் கூறலாமேயன்றி, அவை எவ்வாறு தொழிற்படுகின்றன, எவற்றின் மூலமாய்த் தொழிற்படுகின்றன என்று சொல்லுவது எளிதல்ல. ஒரு பொருளிலே ஒரு கயிற்றைக்கட்டி அதை நாம் இழுத்தால், கயிற்றின் மூலமாக அதில் ஏற்படும் பிகுவே, நமது கையினின்றும் சக்தி அப்பொருளின் மீது தொழிற்படுவதற்குக் காரணம் என்பதை நாமறிவோம். ஒரு காந்தச் சட்டத்தை ஒரு சிறு இருப்பாணியின் அருகில் கொண்டு வரும்போது, ஆணி காந்தச் சக்தியால் இழுக்கப்படுவதை நாம் பார்க்கிறோம். ஆனால் இச்சக்தி எதன் மூலமாய்த் தொழிற்படுகிறது என்பதை இதுவரை நாம் அறியக்கூடவில்லை.

நிற்க, நீரின் மீது மிதக்கும் A, B என்னும் இரண்டு படகுகளை எடுத்துக் கொள்வோம். A-யிலுள்ள ஒரு மனிதன் B-யைப் பிடித்து ஒரு திசையில் தள்ளினுல், B அத்திசையில் நகருவதைக் காணலாம். இதனுடன் A எதிர்த் திசையில் நகருவதையும் காணலாம். எனவே A-யிலிருந்து ஒரு சக்தி B-யின் மீது தொழிற்படும்போது, B-யிலிருந்து மற்றொரு சக்தி Aயின் மீது தொழிற்படுகிறது என்று தெரிகிறது. இவ்வாறே ஒரு காந்த ஊசியையும் மற்றொரு சிறிய இரும்பு ஊசியையும் அடைப்பான்களில் செருகி, நீரின் மீது மிதக்கவிட்டால், இரும்புத் துண்டு காந்த ஊசியை நோக்கி நகருவதோடு, காந்த ஊசியும் இரும்புத் துண்டை நோக்கி நகருவதைக் காணலாம்.

காந்தத்தின் சக்தி மட்டுமே இரும்புத் துண்டின் மீது தொழிற்படுவதானுல், இரும்புத் துண்டு மட்டுமே நகரவேண்டும். காந்தம் நிலையாக நிற்க வேண்டும்.

ஆனால் உண்மையிலே நாம் இரண்டும் ஒன்றை நோக்கி மற்றொன்று நகருவதைக் காண்கிறோம். ஆகையால் காந்தத்தின் சக்தி இரும்புத் துண்டின்மீது தொழிற்படும்போது, இரும்புத் துண்டின் சக்தி காந்தத்தின் மீது தொழிற்படுகிறதென்று கொள்ளவேண்டியிருக்கிறது. இதனால் A என்னும் ஒரு பொருளின் சக்தி, B என்னும் மற்றொரு பொருளின்மீது தொழிற்படும்போது, B-யின் சக்தி A-யின் மீது தொழிற்படும் என்று தெரிகிறது. இவ்விரண்டு தொழிற்பாடுகளும் உண்மையில் ஒரே செயலின் இரண்டு அம்சங்களாகும். இரண்டு பொருள்கள் பரஸ்பரம் தமது சக்திகளைப் பிரயோகிக்கும்போது, இவ்விரண்டு சக்திகளையும் சேர்த்து 'இசிவு' (stress) என்பார்கள். இவ்விசிவுக்குட்பட்ட தொழிலுக்கும் எதிர்த்தொழிலுக்கும் உள்ள உறவை, நியூட்டன் மூன்றாவது இயக்க விதி கூறுகிறது. ஒவ்வொரு தொழிலுக்கும் சமமான, ஆனால் எதிரான, மறு தொழில் ஒன்றுண்டு. இதிலிருந்து எல்லாவித சக்திகளும் பதார்த்தத்தின் பகுதிகளுக் கிடைப்பட்ட இசிவுகளே என்றும், ஒவ்வொரு சக்திக்குச் சமமான ஆனால் எதிரான சக்தியொன்றுண்டு என்பதும் தெளிவாகிறது. இதுவே இயற்கை விதி நாம் கையினால் மேஜையை அழுத்தினால், மேஜை நமது கையை மேனோக்கி அழுத்துகிறது.

இவ்வாறான பரஸ்பர தொழிற்பாடுகளால் பொருள்களின் உந்தங்கள் மாறுபடுகின்றன. A, B என்னுமிரண்டு பொருள்கள் ஒன்றின்மீது மற்றொன்று சிறிது நேரம் மோதிக்கொண்டிருப்பதாக வைத்துக்கொள்ளலாம். A, B-யின் மீது முட்டிக்கொண்டிருக்கும்வரை, B-யும் A-யின் மீது முட்டிக்கொண்டிருக்கும். A எவ்வளவு சக்தியோடு B-யின் மீது தாக்கிக்கொண்டிருக்கிறதோ, அவ்வளவு சக்தியோடு B, A-யின் மீது தாக்

கிக் கொண்டிருக்கும். எனவே சமமான இவ்விரண்டு சக்திகளும் ஒரே கால அளவிற்குத் தொழிற்பட்டமையால், அவற்றினால் ஏற்பட்ட உந்த மாறுபாடுகளும் சமமாக இருக்கும். இச் சக்திகள் எதிர்த் திசைகளில் தொழிற்படுவதால், இவ்வுந்த மாறுபாடுகளும் எதிர்த் திசைகளிலேயே ஏற்பட்டிருக்கும். ஆகையால் இவற்றின் கூட்டுத் தொகை சூனியமாகும். எனவே மொத்த உந்தத்தில் எவ்வித மாறுபாடும் ஏற்படவில்லை. இதையே 'உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி' (conservation of momentum) என்று கூறுவார்கள். இவ்விதியைக் கூறும் முறை வருமாறு:

"பரஸ்பரம் தொழிற்படும் பல பொருள்களைக் கொண்ட ஒரு பொருட் சமூகத்தின் மொத்த உந்தம் எப்போதும் மாறாதிருக்கும்."

நியூட்டன் மூன்றாவது இயக்கவிதியை மற்றொரு உதாரணத்தினால் விளக்குவோம். இங்கே A, B என்ற இரண்டு பொருள்கள் ஒன்றின் மீதொன்று முட்டிக் கொள்கின்றன என்று கொள்வோம். இவற்றின் நிறைகள் முறையே $m_1$, $m_2$ என்றும் கொள்வோம். இவற்றிலே ஒன்று இயங்காதிருப்பதாகவும், மற்றொன்று மட்டுமே இயங்கிவந்து முதல் பொருளின்மீது மோதுகிறதாகவும் கொள்ளலாம். அல்லது இரண்டு பொருள்களுமே இயங்கிக்கொண்டிருக்கும்போது அவை முட்டிக் கொள்ள நேரிடுகிறதென்றும் கொள்ளலாம். $m_1$ என்ற நிறைகொண்ட பொருள் $v_1$ என்ற கதியோடு சென்று இயங்காதிருக்கும் $m_2$ என்ற நிறை கொண்ட பொருளின் மீது மோதுவதாகவும், மோதிய பின்னர் இரண்டு பொருள்களும் ஒட்டி நிற்பதாகவும் கொள்வோம். இப்போது இவையிரண்டும், மோதியபொருள் சென்றதிசையிலேயே, செல்லும். ஆனால் அவற்றின் கதி $v_1$-யை விடக் குறைந்துவிடும். இந்த கதி $v_2$ என்று கொள்

வோம். நியூட்டன் விதிப்படி $m_1$, $m_2$ என்ற இரண்டு பொருள்களின் செயலினாலேற்பட்ட உந்த வேற்றுமைகள் சமமாக இருக்கவேண்டும். ஆனால் இந்த உந்த வேற்றுமைகளின் திசைகள்மட்டும் முரணி நிற்கவேண்டும். $m_2$ என்ற பொருளுக்கு முதலில் உந்தம் ஏதும் இல்லை. பின்னர் அது $m_2 v_2$ என்ற உந்தத்தை ஏற்றுக்கொண்டது. எனவே அதன் உந்த வேற்றுமை $m_2 v_2$ ஆகும். இந்த வேற்றுமை $m_1$ ஆதியில் சென்ற திசையிலே நிகழ்ந்திருக்கிறது. நிற்க $m_1$ என்ற பொருளின் உந்தம் $m_1 v_1$-லிருந்து $m_1 v_2$-ஆகக் குறைந்து விட்டது. இதன் உந்த வேற்றுமை $(m_1 v_1 - m_1 v_2) = m_1 (v_1 - v_2)$. உந்தம் அழிவுபடாதாகையால், $m_1$ என்ற பொருள், $m_2$ என்ற பொருளுக்கு $m_2 v_2$ என்ற உந்தத்தை ஊட்டும்போது, அதற்கு எதிர்த்திசையிலே இதற்குச் சமமான அளவுக்கு உந்த வேற்றுமையைத் தானே அடையவேண்டும். அதாவது தன் உந்தத்தில், தான் ஊட்டிய அளவுக்கு இழந்துவிடவேண்டும். அதாவது $m_1 (v_1 - v_2) = m_2 v_2$. இதனால் இந்த இரண்டு பொருள்களின் மொத்த உந்தம் மாறுபாடு அடையவில்லை. எனவே $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_2$ ஆக வேண்டும். இந்தச் சமீகரணம் உண்மையாக இருக்கும்படியாக $v_2$ வின் பரிமாணம் அமைந்துவிடும்.

$m_2$ என்ற பொருள் $v_2$ என்ற கதியோடு சென்றுகொண்டிருப்பதாகவும், அதன் பின்னாலிருந்து அதே திசையில் $m_1$ என்ற பொருள், $v_1$ என்ற அதிக கதியுடன் வந்து, $m_2$ வின் மீது மோதுவதாகவும் கொள்வோம். மோதிய பின்னர் இவையிரண்டும் ஒட்டிக்கொண்டு $v$ என்ற கதியோடு அதே திசையில் செல்வதாகவும் கொள்வோம். இப்போது தாக்குதற்கு முன்னர் மொத்த உந்தம் $(m_1 v_1 + m_2 v_2)$ ஆகும். மோதிய பின்னரோ மொத்த உந்தம் $(m_1 + m_2)v$ ஆகும். இவையிரண்டும் சமமாக இருக்க வேண்டுமாகையால்,

$(m_1 v_1 + m_2 v_2) = (m_1 + m_2)v$ என்ற சமீகரணம் உண்மையாகும்படி $v$ யின் பரிமாணம் அமைந்து விடும்.

$m_1, m_2$ என்ற நிறைகொண்ட பொருள்கள் முதலில் முறையே $v_1, v_2$ என்ற கதிகளைக்கொண்டு, எதிர்த் திசைகளிலே ஓடிவந்து முட்டிக்கொண்டு, பின்னர் ஒன்ருக ஒட்டிக்கொண்டு, $v$ என்ற கதியோடு ஒரு திசையில் செல்வதாகக் கொள்வோம். இவற்றிலே $v_1$ என்பது மிகைத் திசையென்றும், $v_2$ என்பது குறைத் திசையென்றும் எடுத்துக் கொள்வோம். தாக்குதற்கு முன்னர் மொத்த உந்தம் $(m_1 v_1 - m_2 v_2)$ ஆகும். மோதிய பின்னரோ மொத்த உந்தம் $(m_1 + m_2)v$ ஆகும். எனவே $(m_1 v_1 - m_2 v_2) = (m_1 + m_2)v$ என்ற சமீகரணம் உண்மையாகுமாறு $v$ அமைந்து விடும். இந்தச் சமீகரணமே $v$யின் திசையையும் நிர்ணயித்து விடும். $(m_1 v_1 - m_2 v_2)$ என்பது மிகை இராசியாளுல், அதாவது $m_2 v_2 < m_1 v_1$ ஆளுல், $v$யின் திசையும் மிகையாகும். அதாவது $v$ என்பது $v_1$ என்பதின் திசையிலே இருக்கும்.

$(m_1 v_1 - m_2 v_2)$ என்பது குறை இராசியாளுல் அதாவது $m_2 v_2 > m_1 v_1$ ஆளுல் $v$யின் திசையும் குறை இராசியாகும். அதாவது $v$ என்பது $v_2$ என்பதின் திசையிலே இருக்கும்.

இரண்டு பொருள்களும் தாக்கிய பின்னர் பிரதிபலித்து மீண்டு சென்ருலும், இந்த உறவு பொருந்தும். $m_1$, $m_2$ என்ற நிறைகொண்ட பொருள்களின் முதல் கதி முறையே $u_1$, $u_2$ என்றும், மோதிய பின்னர் அவை மீண்டு செல்லும் கதி முறையே $v_1$, $v_2$ என்றும் கொண்டால், $(m_1 u_1 + m_2 u_2) = (m_1 v_1 + m_2 v_2)$ என்ற சமீகரணம் உண்மையாகுமாறு $v_1$, $v_2$ என்ற கதிகள் அமைந்துவிடும்.

இவ்வாறு பல பொருள்கள் ஒன்றோடொன்று தொழிற்படுவதினால், அவற்றின் மொத்த உந்தம் மாறுபடாமல் இருப்பதே, உந்த-அழிவின்மைத் தத்துவம் எனப்படும். நியூட்டன் மூன்றாவது இயக்க விதியை உந்த-அழிவின்மை விதி என்றும் கூறலாம்.

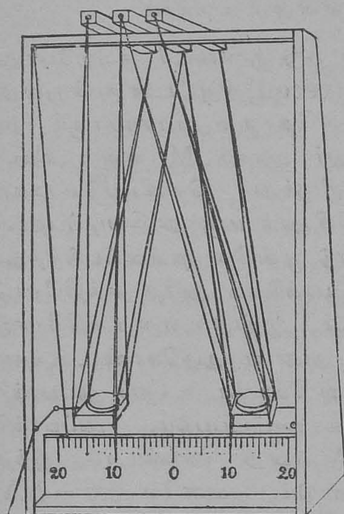
துப்பாக்கியிலிருந்து ஒரு குண்டைச் சுடும்போது ஏற்படும் பின்னுதைவும் (recoil) நியூட்டன் மூன்றாவது விதியை விளக்குவதற்கானதொரு உதாரணமாகும். $m$ என்ற நிறைகொண்ட ஓர் குண்டு, M என்ற நிறை கொண்ட துப்பாக்கியிலிருந்து வெளிப்படுவதாகக் கொள்வோம். துப்பாக்கியினுள் மருந்து வெடிப்பதால் மிகுந்த சக்தியோடு குண்டு முன்னே தள்ளப்படுகிறது. ஆனால் அப்போதே துப்பாக்கியும் அதே சக்தியோடு பின்னேக்கித் தள்ளப்படும். குண்டு $v$ என்ற கதியோடு முன்னேக்கிச் சென்றால், அது ஏற்றுக்கொண்ட உந்தம் $mv$ ஆகும். இதே அளவு கொண்ட உந்தம் துப்பாக்கியில் எதிர்த் திசையிலே ஊட்டப்படும். துப்பாக்கியின் பின்னுதைவு கதி V என்று கொண்டால், இந்த உந்தம் MV ஆக வேண்டும். எனவே $mv = MV$ என்ற சமீகரணம் உண்மையாகுமாறு V என்ற கதி அமையும்.

அதாவது $V = \frac{mv}{M}$ ஆகும்.

புதிதாகத் துப்பாக்கி சுடக்கற்றுக் கொள்ளுகிறவர்கள் துப்பாக்கியின் பின்னுதைவைச் சமாளிக்க முடியாமல் கீழே விழுந்து விடுவதும் உண்டு.

**ஹிக்கின் முட்டல் தராசு** (Hick's ballistic balance). இந்தக் கருவியைக் கொண்டு உந்த-அழிவின்மையைச் சரி பார்க்கலாம். இது படத்திலே காட்டப்பட்டுள்ளது (படம் 31.) இதிலே நேரக வடிவமான

உயர்ந்ததொரு சட்டகம் இருக்கிறது. இதன் தலைச் சட்டத்திலிருந்து தொங்கும் சரடுகளிலே நேரகக் கட்டைகள் இரண்டு தொங்குகின்றன. இவை ஆடும் போது இவற்றின்மேல் முகங்கள் படுகைத் திசையிலே மட்டுமே இருக்குமாறு, இச் சரடுகள் அமைக்கப் பட்டுள்ளன. இரண்டும் தமது மிகத் தாழ்ந்த நிலையில் இருக்கும்போது, நிமிர்வையாக முட்டுமாறும் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றின் முட்டும் முகங்களிலே கூறிய முட்கள் நீட்டிக்கொண்டிருப்பதால், மோதும் போது இவை ஒன்ருக ஒட்டிக்கொண்டுவிடும். சட்டகத்தின் அடிச் சட்டத்திலே ஒவ்வொரு கட்டைக்கும் ஒவ்வொன்ருக இரண்டு அளவிகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. ஒவ்வொரு கட்டையினேடும் செங்குத்தான ஒரு சூசிகை பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. கட்டைகள் முன்னும் பின்னுமாக ஆடும் போது இந்தச் சூசிகைகள் அளவியைத் தழுவிச் செல்லும். கட்டைகள் முட்டிக்கொள்ளும்போது இரண்டு சூசிகைகளும் தத்தமக்குரிய அளவிகளின் சூனியப் பிரிவுகளைக் காட்டும். இக்கட்டைகளிலே கட்டியுள்ள இரண்டு சரடுகளினலே, இவற்றைப் பக்க வாட்டிலே



படம் 31

வேண்டியதூரம் வரை இழுத்துவிடலாம். அவை ஓடி வந்து முட்டிக்கொள்ளும். இவற்றின் கதி கருவியின் அளவைகளைச் சார்ந்திருப்பதோடு நடு நிலையிலிருந்து அவை விலகியுள்ள தூரத்திற்கு ஏற்ப இருக்கும். இந்த விலக்கத்தை அளவியின்மீது சூசிகையினால் கண்டுகொள்ளலாம். நாம் இதுவரை கண்ட பலவேறு வகையான முட்டல்களுக்குரிய முடிபுகளை இதனால் சரிபார்த்துக் கொள்ளலாம்.

மற்றும் உந்த-அழிவின்மை விதியினாலே, நாம் இரண்டு பொருள்களின் நிறைகளை இக்கருவியினுதவியால் ஒப்பிடலாம். சாமானியத் தராசிலும் வில் தராசிலும் ஒரே யிடத்தில் நாம் இரண்டு பொருள்களின் எடைகளைக் கொண்டு அவற்றின் நிறைகளை ஒப்பிடுகிறோம். உந்த-அழிவின்மை விதியைக் கொண்டும் நாம் இரண்டு பொருள்களின் நிறைகளை ஒப்பிடலாம். இரண்டு பொருள்களின் நிறைகள் முறையே $m_1$, $m_2$ என்று கொள்வோம். இவற்றை இந்தக் கருவியிலே கட்டைக்கொன்றாக அவற்றின்மீது வைக்கவும். $m_1$ஐக் கொண்டுள்ள கட்டை, இரண்டாவது கட்டை மீது $u$ என்ற கதியோடு மோதிய பின்னர், இரண்டுமாகச் சேர்ந்து $v$ என்ற கதியோடு செல்வதாகக் கொள்வோம். இப்போது $m_1 u = (m_1 + m_2)v$ ; அதாவது

$$m_1(u-v) = m_2 v$$

$$\text{அல்லது } \frac{m_1}{m_2} = \frac{v}{u-v}$$

$u$, $v$ என்பன கட்டைகளின் விலக்கங்களுக்கு ஏற்றன. எனவே இரண்டு பொருள்களின் நிறையும் ஒப்பிடப்படுகின்றன.

உதாரணம் 1:—10 கிராம் எடைக்குச் சமமான தொரு சக்தி ஒரு பொருளின்மீது தொழிற்பட்டு 50 செ.மீ./செக$^2$. என்னும் முடுக்கத்தை யூட்டுகிறது. அப்பொருளின் நிறையைக் கணக்கிடுக.

சக்தியின் அளவு $F = 10$ கி. எடை $= 10\,g$ டைன். இதனுலேற்பட்ட முடுக்கம் $a = 50$ செ.மீ./செக$^2$. அப்பொருளின் நிறை $m$ என்று கொள்வோம்.

நியூட்டன் இரண்டாவது விதிப்படி

$$F = m.a$$

அதாவது $10\,g = m.50$.

எனவே $m = \dfrac{10\,g}{50} = 196$ கிராம்.

($g = 980$ செ.மீ./செக$^2$. என்று கொள்ளப்பட்டது). அப்பொருளின் நிறை 196 கிராம் ஆகும்.

உதாரணம் 2:—4 கிராம் நிறை கொண்டதொரு பொருள் இயங்காத நிலையிலிருந்து கிளம்பி, 10 செகண்டுகளிலே 50 செ.மீ. தூரத்தைக் கடந்து செல்லுகிறது. இதன்மீது தொழிற்படும் சீரான சக்தியைக் காண்க.

பொருளின் துவக்க கதி $u = 0$

கடந்த் தூரம் $S = 50$ செ.மீ.

கழிந்த நேரம் $t = 10$ செக. பொருளின் முடுக்கம் $a$ என்று கொண்டால், $S = \frac{1}{2}at^2$.

அதாவது $50 = \frac{1}{2}\,a \times 10^2$.

அல்லது $a = 1$.

எனவே பொருளின் முடுக்கம் $a = 1$ செ.மீ /செக$^2$. அதன் நிறை = 4 கி. அதன்மீது தொழிற்பட்ட சக்தி F என்று கொள்வோம்.

$$F = ma.$$

அதாவது $F = 4 \times 1 = 4$.

எனவே அப்பொருளின்மீது தொழிற்பட்ட சக்தி 4 டைன் அளவுள்ளது.

உதாரணம் 3 :—300 டன் நிறை கொண்டதொரு வண்டித்தொடர் மணிக்கு 40 மைல் கதியோடு ஓடுகிறது. நீராவியை அடக்கிவிட 2 நிமிஷங்களுக்குள்ளே வண்டி முற்றும் நின்றுவிடுகிறது. இதை நிறுத்திய உராய்வுச் சிக்கல் சீரானதென்று கொண்டு அதைக் கணக்கிடுக.

வண்டியின் கதி $u = 40$ மைல்/மணி

$$= \frac{40 \times 22}{15} = \frac{176}{3} \text{ அடி/செக.}$$

இக்கதி முற்றிலும் அழிந்து போவதற்கான நேரம்

$t = 120$ செக.

எனவே உராய்வுச் சிக்கலினுலேற்பட்ட அருக்கம்

$$a = \frac{176}{3} \cdot \frac{1}{120} \text{ அடி/செக}^2.$$

வண்டியின் நிறை $m = 300$ டன் $= 300 \times 20 \times 112$ பவு.

உராய்வுச் சிக்கலின் சக்தி $F = ma$

$$= \frac{300 \times 20 \times 112 \times 176}{3 \times 120} = 328533\tfrac{1}{3} \text{ பவுண்டல்}$$

$$= \frac{10 \times 11}{3 \times 8} \text{ டன் எடை}$$

$$= \frac{110}{24} = 4\frac{7}{12} \text{ டன் எடை.}$$

உதாரணம் 4 :—5 பவு. நிறை கொண்டதொரு பொருள் 120 அடி/செக. என்னும் கதியோடு சென்று, 7 பவு. நிறை கொண்ட மற்றொரு பொருளின்மீது மோதுகிறது. அவையிரண்டும் ஒட்டிக்கொண்டு விட்டால் அவற்றின் கதி யாதாகுமென்று காண்க.

முதற் பொருளின் நிறை 5 பவு.

அதன் கதி 120 அடி/செக.

எனவே அதன் உந்தம் $5 \times 120$.

இரண்டாவது பொருளின் நிறை 7 பவு.

அதன் கதி 0.

எனவே அதன் உந்தம் $7 \times 0 = 0$.

இவற்றின் உந்தங்களின் கூட்டுத் தொகை

$5 \times 120 = 600$.

மோதிய பின்னர் பொருளின் நிறை $5 + 7 = 12$ பவு.
உந்த-அழிவின்மை விதியால் அவற்றின் உந்தம் 600.

$$\text{எனவே அவற்றின் கதி} = \frac{\text{உந்தம்}}{\text{நிறை}} = \frac{600}{12}$$

$$= 50 \text{ அடி/செக.}$$

உதாரணம் 5 :—80 டன் நிறையுள்ளதொரு பீரங்கியினின்று அரை டன் நிறையுள்ளதொரு குண்டு சுடப்பட்டது. அக்குண்டு 2500 அடி/செக. என்னும் கதியோடு கிளம்பிற்றானல், பீரங்கியின் பின்னுதைப்பு கதி யாதாகுமென்று கணக்கிடுக.

குண்டு சுடப்படுவதற்கு முன்னர் பீரங்கியும் குண்டும் இயங்காதிருந்தமையால் அவற்றின் உந்தம் சூனியமாகும்.

எனவே குண்டு சுடப்பட்ட பின்னரும் அவற்றின் கூட்டு உந்தம் சூனியமாக வேண்டும்.

குண்டின் நிறை $\frac{1}{2}$ டன். அதன் கதி 2500 அடி/செக.
எனவே அதன் உந்தம் $\frac{2500}{2}$ ஆகும்.

பீரங்கியின் நிறை 80 டன். அதன் பின்னுதைப்பு கதி $-u$ என்று கொண்டால், அதன் உந்தம் $-80\ u$ ஆகும்.

பீரங்கி, குண்டுக்கு எதிர்த்திசையில் செல்வதால், அதன் கதி குறைக்குறியுடன் சேர்க்கப்பட்டது. இவற்றின் கூட்டு உந்தம் $\frac{2500}{2} - 80\ u = 0$ ஆகவேண்டும்.

ஆகையால் $u = \frac{2500}{2 \times 80} = 15\frac{5}{8}$

எனவே பீரங்கியின் பின்னுதைப்பு கதி
$15\frac{5}{8}$ அடி/செக. ஆகும்.

உதாரணம் 6:—150 பவு. நிறையுள்ள ஒரு மனிதன் ஒரு மேடைமீது நிற்கிறான். அந்த மேடை 2 அடி/செக$^2$. என்னும் முடுக்கத்தோடு மேலே எழும்பினால் அவன் அம் மேடைமீது தாக்கும் அழுத்தம் என்னவாகும்? அதே கதியோடு மேடை கீழிறங்கும்போது அவன் அம் மேடைமீது தாக்கும் அழுத்தம் யாதாகும்?

மேடைமீது தாக்கும் அழுத்தம் R என்று கொண்டால், மேலே ஏறும்போது $R - mg = ma$.

அதாவது $R = 150 \times 32 + 150 \times 2 = 5100$ பவுண்டல்.
கீழே இறங்கும்போது $mg - R = ma$.

$R = mg - ma$

$= 4800 - 300 = 4500$ பவுண்டல்.

## வினாக்கள்

1. 8 டன் நிறையுள்ளதொரு மோட்டார் வண்டி 10 பிரயாணிகளை ஏற்றிச் செல்லுகிறது. இப்பிரயாணிகளின் பொதுமை நிறை 150 பவு. இவ்வண்டியின் கதி 12 அடி/செக. ஆனபோது அதன் உந்தம் யாதாகும்? இவ் வண்டியை 20 செகண்டுகளுக்குள் நிறுத்தவேண்டுமானால் அதன் மீது எவ்வளவு சக்தி தொழிற்படவேண்டும்?

2. படுகைத் தளத்திலே 200 செ.மீ/செக. என்னும் கதியோடு வரும் பந்தொன்றை ஒரு ஆட்டக்காரன் பிடிக்கிறான். அதற்கு (*a*) 2 செகண்டுகள் ஆயிற்றானால் (*b*) அவனது கைகள் 50 செ.மீ. பின்னிட்டதானால், முறையே அவனது கைகளிலே தொழிற்பட்ட சக்தியைக் கணக்கிடுக. பந்தின் நிறை 12 கிராம்.

3. நியூட்டனது இரண்டாவது இயக்கவிதியை எடுத்துக் கூறுக. அதிலிருந்து $m$ என்னும் நிறை கொண்ட பொருள்மீது $f$ என்னும் சக்தி தொழிற்படுவதால் ஏற்படும் $a$ என்னும் முடுக்கத்திற்கும் அச்சக்திக்கும் உள்ள தொடர்பைக் காண்க.

(சென்னை 1922 மார்ச்.)

4. 100 டன் எடையுள்ளதொரு வண்டித்தொடர் ஒரு டன்னுக்கு 5 பவு. எடைகொண்ட சிக்கலை எதிர்த்துச் சென்று, 10 செகண்டுகளிலே 30 மைல்/மணி என்னும் கதியை அடைகிறது. என்ஜின் இழுப்பு சக்தியைக் கணக்கிடுக.

5. 3 பவுண்டு நிறை கொண்டதொரு பந்து 100 அடி/செக. என்னும் கதியோடு ஓடுகிறது. இதை (*a*) 2 செகண்டுகளிலே (*b*) 4 அடி தூரத்திற்குள்ளே

நிறுத்தவேண்டுமானால் எவ்வளவு சக்தி அதன்மீது தொழிற்படவேண்டும்.

6. 5 பவு. நிறைகொண்டதொரு பொருளின் மீது ஒரு சக்தி 10 செகண்டுகள் வரை தொழிற்பட்டு அதற்கு 100 அடி/செக. என்னும் கதியை ஊட்டியது. இச் சக்தியைக் கண்டு, ஒருடன் நிறைகொண்ட பொருளின்மீது, அது எவ்வளவு முடுக்கத்தை ஊட்டக்கூடுமென்று காண்க.

7. 20 பவு. நிறைகொண்டதொரு பொருளின்மீது 4 பவு. எடைகொண்டதொரு சக்தி தொழிற்படுகிறது. இதனால் ஏற்படும் முடுக்கத்தையும், 2 செகண்டுகளிலே அது ஊட்டக்கூடிய கதியையும், கணக்கிடுக. இதற்குள்ளே அப்பொருள் எவ்வளவு தூரத்தைக் கடந்து சென்றிருக்கும்.

8. நியூட்டன் இரண்டாவது இயக்க விதியை எடுத்துக் கூறுக. இதை எவ்வாறு பரிசோதனையால் சரிபார்க்கலாமென்று விவரிக்க.

(மைசூர் 1933).

9. நியூட்டன் இயக்க விதிகளில் முதலிரண்டை எடுத்துக் கூறுக. அவற்றிலே ஒன்று எவ்வாறு சக்தியின் போக்கை நிர்ணயிக்கிறதென்றும், மற்றொன்று எவ்வாறு சக்தி அலகை வரையறுப்பதற்கு உதவுகிறது என்றும் காட்டுக.

ஒரு சிறு காகித உருண்டை துளங்கா நிலையிலிருந்து கிளம்பி 1 செகண்டு நேரத்திலே 420 செ.மீ. கீழ்நோக்கி விழுவதாகக் கணக்கிடப்பட்டது. இவ்வுருண்டையின் மீது தொழிற்பட்ட காற்றின் உராய்வுச் சிக்கலைக் கணக்கிடுக. ($g = 980$ செ.மீ./செக$^2$.)

(பம்பாய் 1929).

10. ஒரு பொருளின்மீது ஒரு சக்தி தொழிற்படுவதால் ஏற்படும் முடுக்கம் அச் சக்திக்கு ஏற்பவுள்ளது என்று கூறும் விதியைச் சரிபார்ப்பதற்கானதொரு பரிசோதனையை விவரிக்கவும். ஒரு வழு வழுப்பான மேஜைமீது நிற்கும் 15 பவு. நிறைகொண்டதொரு பொருளின்மீது 12 பவு. எடை கொண்டதொரு சக்தி தொழிற்படுகிறது. அது 21 அடி சென்றவுடன் இச் சக்தி நின்றுவிட 12 அவு. எடை கொண்டதொரு சக்தி எதிர்த்திசையிலே தொழிற்படுகிறது. இந்தப் பொருள் துளங்கா நிலைக்கு வருமுன் எவ்வளவு தூரம் செல்லுமென்று காண்க. ($g = 32$ அடி/செக$^2$.)

(சென்னை 1925 செப்.).

11. நியூட்டன் இயக்க விதிகளைக் கூறி விளக்குக. 30 கிராம் நிறையுள்ள ஒரு குண்டின்மீது ஒரு சக்தி 10 செக. தொழிற்பட்டு, இயங்காதிருந்த அக்குண்டிற்கு 300 மீடர்/செக. கதியை ஊட்டிற்று. இதே சக்தி 30 கி. கிராம் நிறைமீது 5 நிமிஷ நேரம் தொழிற்பட்டால், ($a$) அந்நிறை மேற்கொள்ளும் கதி யாது? ($b$) சக்தியால் செய்யப்பட்ட வேலை எவ்வளவு?

(சென்னை 1924 செப்.).

12. நியூட்டன் இரண்டாவது இயக்க விதியைக் கூறுக. இதைப் பரிசோதனையால் எவ்வாறு சரிபார்க்கலாம் என்பதை விவரித்து எழுதுக. இயங்காதிருக்கும் ஒரு பொருளின்மீது, 10 பவுண்டு எடை கொண்டதொரு சக்தி 4 செகண்டு நேரம் தொழிற்பட்டு, அதை 26 அடி தூரம் நகர்த்தினல் அப்பொருளின் நிறை எத்தனை பவுண்டுகள்?

(அண்ணா. 1932).

13. 100 டன் நிறை கொண்டதொரு வண்டித் தொடர் மணிக்கு 30 மைல் வீதம் சென்றுகொண்டி-

ருந்தபோது, நீராவி அடக்கப்பட்டுத் தடைவிசைகள் பிரயோகிக்கப்பட்டன. கால் மைல் தூரம் சென்று வண்டி நின்றுவிடுகிறது. தடை விசைகள், காற்று, உராய்வு முதலியவற்றின் சிக்கல் யாதாகும்?

14. $\frac{1}{2}$ அவு. நிறைகொண்டதொரு துப்பாக்கி ரவை 600 அடி/செக. என்னும் கதியோடு சென்று ஒரு களிமண் சுவற்றிலே மோதி, 15 அங். துளைத்து உட் சென்று நின்றுவிடுகிறது. சுவற்றின் பொதுமைத் தடையைக் கணக்கிடுக.

15. 10 பவு. நிறை கொண்டதொரு பொருள் 12 அடி/செக. என்னும் கதியோடு சென்று தன்னை எதிர்த்து 8 அடி/செக. என்னும் கதியோடு வந்த 6 பவு. நிறை கொண்ட மற்றொரு பொருளின்மீது மோதிற்று. அவை இரண்டும் ஒட்டிக்கொண்டால் அவற்றின் பொது கதி யாதாகும்?

16. திசையுற்ற ராசிகளுக்கும் திசையற்ற ராசிகளுக்குமுள்ள வேற்றுமையை எடுத்துக்கூறுக. கதி, உந்தம், ஆற்றல் என்பன எந்த வகையைச் சார்ந்தனவாகும்?

100 கிராம் எடை கொண்டதொரு குண்டு 2000 செ.மீ./செக. கதியோடு சென்று நிலையாயுள்ள 2 கி. கிராம் எடை கொண்டதொரு பலகைமீது மோதிப் பிரதி பலித்து, 1000 செ.மீ./செக. என்னும் கதியோடு மீளுகிறது. மோதியவுடனே பலகையின் கதி யாதாக இருக்கும்.

(டெல்லி 1933).

17. 20 பவு. நிறை கொண்டதொரு துப்பாக்கியினின்றும் சுடப்பட்ட $\frac{1}{5}$ பவு. நிறைகொண்டதொரு குண்டு 2000 அடி/செக. என்னும் கதியோடு கிளம்பு

கிறது. ($a$) எவ்வளவு கதியோடு துப்பாக்கி பின்னுக்கு உதைக்குமென்றும் ($b$) 250 பவு. எடைச் சக்தியால் தடுக்கப்பட்டால் அது எவ்வளவு தூரம் பின்னே செல்லுமென்றும் கணக்கிடுக.

18. 10 டன் நிறையுள்ள தொரு பீரங்கியிலிருந்து 96 பவு. நிறையுள்ள தொரு குண்டு வெளிப்பட்டு 1400 அடி/செக. என்னும் கதியோடு கிளம்புகிறது. பீரங்கியின் பின்னுதைப்பு 1 டன் எடைக்குச் சமமான சக்தியால் தடுக்கப்பட்டதானல் அது எவ்வளவு தூரம் பின்னிடும் என்று கணக்கிடுக.

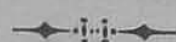
19. ஒரு புகைக் கூண்டிலுள்ளதொரு வில்தராசின் கொக்கியிலே 8 பவு. எடைகொண்டதொரு பொருள் தொங்குகிறது. இப்புகைக் கூண்டு சீரான முடுக்கத்தோடு மேலே கிளம்பும்போது வில்தராசின் வாசகம் 10 பவுண்டாக இருந்தது. புகைக் கூண்டின் முடுக்கத்தைக் காண்க.

20. பன்னிரண்டு குண்டு எடையுள்ள ஒரு மனிதன் ஒரு விண்ணுயர்த்தியிலே (Lift) 4 அடி/செக$^2$ வீதம் முடுக்கித் தூக்கப்படுகிறன். உயர்த்தியின் பீடம் மனிதன் மீது தாக்கும் சக்தி எவ்வளவு?

(ஆக்ஸ் போர்ட் 1932).

---

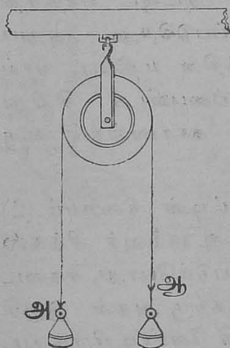
# அத்தியாயம் 5



## அட்வுட் யந்திரமும் பிளட்சர் வண்டியும்
## (Atwood's machine and Fletcher's Trolley)

ஒரு சிக்கில்லாத சகடையின் (Pulley) இரு புறங்களிலும் தொங்கவிடப்பட்ட இரண்டு நிறைகளின் இயக்கம் :—

முறையே $m_1$, $m_2$ நிறைகளைக் கொண்ட அ, ஆ என்னும் இரண்டு பொருள்களை, ஒரு கனமில்லாத மெல்லிய சரட்டின் இரண்டு முனைகளிலும் கட்டி, அச் சரட்டை லேசான சிக்கில்லாத ஒரு சகடையின் மேலே சுற்றி, படத்தில் (படம் 32) கண்டவாறு அமைத்திருப்பதாகக் கொள்வோம். இதில் $m_1$-ஐ விட $m_2$ பெரிது என்றும் கொள்வோம். இரண்டு பொருள்களும் பூமியை நோக்கி முறையே $m_1 g$, $m_2 g$ என்னும் சக்திகளால் இழுக்கப்படுகின்றன. கனமான பொருள் கீழேயிறங்க, லேசான பொருள் மேலேறும். இவ்விரண்டும் ஒரே சரட்டில் இணைக்கப்பட்டிருப்பதால் எந்த நொடியிலும் இரண்டு பொருள்களின் கதியும் முடுக்கமும் சமமாகவே இருக்கும். இவ்விரண்டு பொருள்களின் நிறைகளும் சமமாய் இருப்பின், அவற்றின் மீது தொழிற்படும் பூமியின் கவர்ச்சி



படம் 32

சக்தியும் சமமாய் இருக்கும். அதனால் அவை இரண்டும் அசையாமல் சம நிலையில் இருக்கும். அவற்றின் நிறை முற் கூறியபடி சமமாய் இராமல் $m_2$, $m_1$ ஐ விடப் பெரி

தாய் இருப்பின், $m_2g$ என்னும் சக்தி இயக்கம் ஏற்படும் திசையிலும், $m_1g$ என்னும் சக்தி எதிர்த்திசையிலும் இருக்கும். எனவே இவற்றின் பயனிலைச் சக்தியாகிய $(m_2-m_1)g$ என்னும் சக்தியே இயக்கத்துக்குக் காரணமாகிறது. இச்சக்தி மொத்த நிறையாகிய $(m_1+m_2)$வை இயக்குகிறது. இந்நிறைகள் $a$ என்னும் முடுக்கத்தோடு இயங்கினால் அவற்றின் மீது தொழிற்பட வேண்டிய சக்தி $(m_1+m_2)a$ ஆகும்.

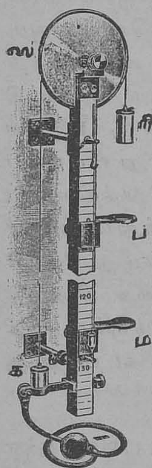
ஆகையால், $(m_2-m_1)\,g = (m_2+m_1)\,a$

ஆகையால் $a = \dfrac{(m_2-m_1)\,g}{m_1+m_2}$

இந்த முடுக்கத்துடன் தான் அ மேலேறுவதும் ஆ கீழிறங்குவதும். ஆகையால் இத்தகைய ஓர் அமைப்பிலே, நாம் முடுக்கமாகிய $a$ ஐ அளந்து காணக் கூடுமானால், அதிலிருந்து $g$ யைக் கணக்கிட்டு இயக்கவியல் விதிகளைச் சரிபார்க்கலாம். அட்வுட் யந்திரத்தில் இந்த தத்துவந்தான் கையாளப்படுகிறது. அநுபவத்திலே நாம் அளவிட்ட முடுக்கத்தின் மதிப்பு, வாய்பாட்டினால் கணக்கிட்ட மதிப்பைவிடச் சிறிது குறைந்தே இருக்கும். இதற்குக் காரணங்கள் வருமாறு:—

1. உருளையின் நிறையும் சரட்டின் நிறையும் (2) உருளை சுழலுவதில் ஏற்படும் உராய்வுச் சிக்கல் (Friction). இதில் இயக்கம் ஏற்படும்போது, சகடை சுழலுகிறது. அதைச் சுழற்றுவதற்கு அதன் இருசிலேற்படும் சிக்கலை நீக்க சிறிது சக்தி வேண்டியிருக்கும். மற்றும் இவ்வியக்கத்திலே சரடும் சேர்வதால் அச்சரட்டை இயக்குவதற்கும் சிறிது சக்தி வேண்டியிருக்கும். இவற்றையெல்லாம் கழித்துவிட்டே நாம் $(m_1+m_2)$ என்னும் நிறைகளை இயக்கும் சக்தியைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளவேண்டும்.

அட்வுட் யந்திரம்:—(படம் 33) இதிலே சுமார் இரண்டரை மீடர் உயரமுள்ள ஒரு பித்தளைத் தூண் இருக்கும். இது செங்குத்தாக ஒரு சுவற்றோடு ஒட்ட வைக்கப்பட்டிருக்கும். இதிலே மேலிருந்து கீழ்நோக்கி செ. மீடர்களிலே வகைப்பாடு செய்யப்பட்டிருக்கும். இதன் மேல் நுனியில், ஸ-என்ற ஒரு லேசான சகடை இருக்கிறது. இது எளிதாகச் சுழலும்படி ஏற்றிவைக்கப்பட்டிருக்கும். இச்சகடையின்மீது சுற்றியுள்ள மெல்லிய சரட்டின் இரு முனைகளிலும், சமமான நிறையுள்ள ரீ, க என்னுமிரண்டு பித்தளை உருளைகள் கட்டித் தொங்குகின்றன. இது எந்த நிலையிலும் சம நிலைமையாக நிற்கக்கூடியது. இதில் இயக்கம் உண்டாக்குவதற்காக பல வேறு நிறைகளையுடைய சிறு எடைகள் ரீ-யின் மீது வைக்கப்படும். இவற்றிற்குச் 'சாரிகள்' (Riders) என்று பெயர். ஏதேனுமொரு சாரி ரீ-யின்மீது இருக்கும்போது க என்னும் உருளையைப் பிடித்து நிறுத்தி வைப்பதற்கும், வேண்டியபோது அதை நழுவவிடுவதற்குமான பிடிப்பு ஒன்று உண்டு. இப்பிடிப்பை மின் காந்தத்தால் (Electro-magnetic arrangement) இயக்குவதும் உண்டு. இச் சாதனத்தை உபயோகிக்கும்போது உருளைகள் இரும்புருளைகளாக இருக்க வேண்டும். ரீ யின் ஓட்டத்தைத் தடுத்து, வேண்டிய இடத்திலே நிறுத்துவதற்காக, ம என்னும் ஒரு உலோகத் தட்டொன்று உண்டு. மற்றும் இதைப் போன்றே வேண்டிய இடத்திலே பொருத்தக்கூடியதான ப என்



படம் 33

னும் உலோக வளையம் ஒன்றும் உண்டு. இதன் வழியாக ஒரு 'சாரியுடன்' கூடி ரீ கீழ்நோக்கிச் செல்லுமாயின் அச்சாரி மட்டும் உலோக வளையத்தின்மீது தங்கி நின்றுவிடும். இதனால் ஓடுகின்ற உருளைகளின் மீது தொழிற்படும் சக்தியை, நாம் விரும்பிய நொடியிலே நீக்கிவிட முடியும்.

இப் பரிசோதனையை ஆரம்பிப்பதற்கு முன்னால், க வை பிடித்து வைத்து ரீ யின் மட்டத்திற்குச் சரியான அளவி வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும் ரீ-யின்கீழே நாம் விரும்பிய தூரத்திலே ப வை நிறுத்தி வைக்கவும். இதனால் சாரியின் ஆக்கத்திற்குட்பட்டு ரீ-நகரும் தூரத்தை நாமறிவோம். இதுவே ரீ, ப இவைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரமாகும். இப்போது பிடிப்பை நழுவவிட்டு, அல்லது மின்னருவியை நிறுத்திவிட்டு, அதே நொடியில் ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தை ஓடச்செய்து, சாரி, வளையத்தின்மீது மோதி நின்ற சத்தம் கேட்டவுடன், கடியாரத்தை நிறுத்தி விடவும். இவ்வாறாக ரீ யின் முதல் நிலைக்கும் ப-வுக்கும் இடைப்பட்ட $S$ என்ற தூரத்தைக் கடப்பதற்கு வேண்டிய நேரத்தை அளவிடலாம்.

அட்வுட் யந்திரத்தினல் செய்யப்படும் பரிசோதனைகள் :—

ஒரே சீரான சக்திக்குட்பட்ட ஒரு பொருள் சீரான முடுக்கத்தோடு இயங்குகிறது என்பதைக் காட்ட : ரீ-யின்மீது ஒரு செப்புக் கம்பித்துண்டை வைக்கவும். மெதுவாகத் தள்ளி விட்டால் உருளைகள் சீரான கதியோடு இயங்கும் படியாக, இந்தச் செப்புக் கம்பியின் நீளத்தைச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது செப்புக் கம்பியின் நிறை சகடையின் சிக்கலை நீக்குவதற்குச் சரியாக இருக்கிறது. ஆகையால் இதற்கு சிக்கல்-

சாரி (Friction rider) என்று பெயர். இதை எப்போதும் ரீ-யின் மீதே வைத்திருக்க வேண்டும். ரீ-யின் மீது ஏதேனுமொரு சாரியை வைக்கவும். வளையத்தை ரீ-யினடியில் முறையே 50, 70, 100, 120, செ. மீடர்கள் தூரத்தில் இருக்கும்படி வைத்து, அவ்வப்போது நிறை ப-வரை கிழிறங்கு வதற்கு வேண்டிய நேரங்களைக் கடியாரத்தினுல் அளவிடவும். இதே பரிசோதனையை வெவ்வேறு சாரிகளைக் கொண்டு திருப்பிச் செய்யவும். ஒவ்வொரு கால அளவிற்கும் மூன்று தரம் செய்து வந்த பொதுமையளவைக் கொள்ளவும். ஒவ்வொரு சோதனையிலும் $2S/t^2$ என்னும் ராசியின் மதிப்பைக் கணக்கிட்டால், அது ஒவ்வொரு சாரிக்கும் மாருது இருப்பதைக் காணலாம். இதனுல் சீரான சக்திக்குட்பட்டபோது முடுக்கம் சீரான தாகுமென்பது காட்டப்படுகிறது.

(நியூட்டன் இரண்டாவது விதி) முடுக்கம் தொழிற்படும் சக்தியைப் பொறுத்தது என்று காட்ட :—மேலே கண்ட சோதனைகளின் முடிவுகளைக் கொண்டே இதையும் காட்டலாம். சாரிகளின் நிறைகளை நோக்க உருளைகளின் நிறை மிகப் பெரிதாக இருக்கும் வரையில், மேலே கண்ட எல்லாப் பரிசோதனைகளிலும் இயங்கிய மொத்த நிறை ஒன்றேயென்று கொள்ளலாம். அதில் கண்ட $2S/t^2$ என்னும் ராசிகளின் மதிப்புகளை அவ்வப்போது உபயோகித்த சாரிகளின் நிறையால் வகுத்து வரும் ஈவாகிய $\frac{2S}{mt^2}$ என்னும் ராசி மாறிலியாய் இருப்பதைக் காணலாம். இதில் $2S/t^2$ என்பது முடுக்கம். $m$ என்பது தொழிற்படும் சக்திக்கு ஏற்ப இருக்கும். எனவே $\frac{2S}{mt^2}$ மாறிலியாய்

இருப்பதால் முடுக்கம் தொழிற்படும் சக்தியைப் பொறுத்தது என்பது விளங்குகிறது.

'$g$'-யைக் கண்டு பிடிக்க :—முதல் பரிசோதனைகளில் கண்ட பிரேட்சை (Observation) களையே $g$-யைக் கணக்கிடுவதற்கும் உபயோகிக்கலாம். சகடைக்கு நிறையில்லாவிடில் $m$ கிராம் நிறையுள்ள சாரியைக் கொண்டபோது ஏற்படும் இயக்கத்தின் முடுக்கம் $\frac{mg}{(2M+m)}$ என்பதை நாமறிவோம். ஆனால் முன்னால் நாம் கூறியபடி இந்த முடுக்கத்தின் மதிப்புச் சிறிது குறைந்தே வரும்.

இம்முடுக்கத்தின் அளவு பரிசோதனையில் கண்டபடி $a_1$ என்றும், ஆனால் வாய்பாட்டின்படி கிடைக்கவேண்டிய அதன் மதிப்பு $a$ என்றும் கொண்டால், $a = \frac{mg}{(2M+m)}$ ஆகும். இது $a_1$-ஐ விடப் பெரிது; நிறையில்லாத ஒரு சகடையைக்கொண்டு, இதே தொழிற்படும் சக்தியோடு, நாம் எடைகளின் நிறையை $x$ என்னும் சிறிதளவு மிகைப்படுத்தி, முடுக்கத்தின் மதிப்பு $a_1$ ஆகுமாறு செய்யலாம். இதன்படி $\frac{mg}{2M+m+x} = a$ ஆகும். இதில் $x$ என்பது இரண்டு எடைகளாலும் சரிசமமாகப் பகிர்ந்து கொள்ளப்பட்டிருப்பதாகக்கொள்ளவேண்டும். இல்லாவிடில் தொழிற்படும் சக்தியின் அளவு மாறிவிடும். எனவே சகடையின் நிறை, இயங்கும் மொத்த நிறையை, $x$ என்னும் சிறிதளவிற்கு அதிகப்படுத்திவிட்டது என்று கொள்ளலாம். இவ்வாறாக உண்மையான மொத்த இயங்கு நிறையோடு கூட்டப்படவேண்டியதாகிய இச்சிறு நிறைக்கு, சகடையின் 'ஒப்புமை நிறை' (Equivalent

Mass) என்று பெயர். இந்த நிறையைச் சகடையின் வடிவ அளவைகளைக் கொண்டு கணக்கியல் முறையால் காணலாம். ஆனால் அந்த முறையின் விவரமெல்லாம் இப்புத்தகத்தின் தகுதிக்கு மிஞ்சியது. அவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட இந்த நிறையின் அளவு ஒவ்வொரு சகடையின் மீதும் பொறிக்கப்பட்டிருக்கும்.

ஆகையால் இந்த நிறையை நமது கணக்கீடுகளிலெல்லாம் சேர்த்து உட்படுத்திக்கொள்ளவேண்டும்.

முதலில் செய்யப்பட்ட பரிசோதனைகளிலிருந்து ஒவ்வொரு சாரிக்கும் உரிய பொதுமை முடுக்கத்தைக் கண்டு பிடிக்கவும். $a_1 = \frac{mg}{(2M + m + x)}$ என்னும் வாய்பாட்டில் மற்ற ராசிகளை ஈடிடவே $g$-இன் மதிப்பு கிடைக்கும்.

ஒரே சக்தி பல பொருள்களின் மீது தொழிற் பட்டால் அவைகளிலேற்படும் முடுக்கம், அந்த அந்தப் பொருள்களின் நிறைக்கு எதிர்விகிதமாக இருக்கும் என்று காட்ட :—இதற்கு ரி, க, என்னும் உருளைகளில், வெவ்வேறான நிறைகொண்ட ஐந்தாறு ஜதைகளை எடுத்துக் கொள்ளவும். ஒரே சாரிபைக்கொண்டு, இந்தப் பல வேறு ஜதை உருளைகளிலும் ஏற்படும் முடுக்கங்களை, முன்னே கூறிய $S$, $t$ என்னும் ராசிகளை அளந்து கணக்கிடவும். இதிலே ஒவ்வொரு தரமும் இயங்கும் மொத்த நிறையை முடுக்கத்தால் பெருக்கிவந்த தொகை மாறிலியாய் இருக்கும். இப்பரிசோதனையிலே சகடையின் ஒப்புமை நிறையையும் கணக்கிலெடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். ஆகையால் $(2M_1 + m + x)\,a_1 = (2M_2 + m + x)\,a_2$ என்ற உறவு சரியானதென்று இப்பரிசோதனையால் காணலாம். ஆகையால் ஒரு பொருளிலேற்படும் முடுக்

கம், அதன் நிறைக்கு எதிர்விகிதமானது என்பது காட்டப்படுகிறது.

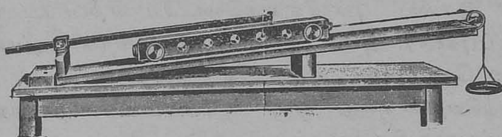
தொழிற்படும் சக்தியை நீக்கியபிறகு அந்த உருளையின் கதி சீரானதென்று காட்ட:—சாரியைத் தேக்கி நிறுத்தும் வளையத்தை ரீ-யின்கீழ் சுமார் 25 செ.மீ. தூரத்தில் பிணித்துவைக்கவும். அதிலிருந்து கீழே 50, 70, 100, 120 செ. மீ. தூரங்களில் அளவியின் மீது அடையாளங்களைச் செய்துகொள்ளவும். உருளைகளை நழுவ விட்டுச் சாரி வளையத்தின்மீது மோதிய ஓசையைக் கேட்டவுடன், ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தை ஓடச்செய்து, ரீ-யின் தலைப்பாகம் 50 செ. மீ. அடையாளத்தைக் கடக்கும்போது, அதை நிறுத்தி இடைக்காலத்தைக் காணவும். இவ்வாறே 70, 100, 120 செ. மீ. தூரங்களைக் கடப்பதற்கு ஆகும் நேரங்களையும் கண்டுபிடிக்கவும். இவற்றிலிருந்து இந்த நேரங்கள், அவ்வப்போது கடந்த தூரங்களுக்கு ஏற்ப நேராக இருக்கும் என்று காட்டலாம். எனவே தொழிற்படும் சக்தி நீங்கியபின் பொருள்கள் சீரான கதியோடு இயங்கும் என்பது தெரிகிறது.

ஒரு பொருளில் ஏற்படும் கதிமாறுபாடு அதன்மீது சக்தி தொழிற்படும் காலத்திற்கு ஏற்பநேராக இருக்கும் என்று காட்ட :—அட்வுட் யந்திரத்தில் உருளைகள் கிளம்புவதற்குமுன் அவற்றின் கதி சூனியமாகும். ஆகையால் அவற்றின் கதி, அவற்றிலேற்படும் கதி மாற்றமாகும்.

இப்பரிசோதனையைத் துவக்குமுன் வளையத்தை ரீ-யின் கீழே சிறிது தூரத்தில் பிணித்துவைக்கவும். உருளைகளை நழுவவிட்டு அதே நொடியில் ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தையும் ஓடச்செய்து, சாரி வளையத்தின்மீது மோதிய ஓசை கேட்டவுடன், கடியா

ரத்தை நிறுத்தி, இடைநேரமாகிய $t_1$ என்பதைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு வளையத்தின் நிலையை மாற்ருமல், மற்ெருரு முறை உருளையை நழுவவிட்டு, இதற்கு முந்திய பரிசோதனையில் செய்ததுபோல, சாரி நீக்கப்பட்டவுடன் ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்தைக் கடப்ப தற்கு ஆகும் நேரத்தைக்கண்டு, அதன் கதி ஆகிய $v_1$ என்பதைக் கணக்கிடவும். இவ்வாறே வளையத்தை வெவ்வேறு நிலைகளில் வைத்து அவ்வப்போதும் வளையம் வரை இறங்குவதற்கு வேண்டிய நேரங்களாகிய $t_2$, $t_3$, $t_4$ ........முதலியனவற்றையும், அவ்வப்போதும் பின்னுல் அளந்த கதிகளாகிய $v_2$,$v_3$,$v_4$......முதலியனவற்றையும் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இவற்றிலிருந்து $\frac{v_1}{t_1}=\frac{v_2}{t_2}=\frac{v_3}{t_3}$......என்று காட்டலாம். ஆகையால் ஒரு பொருளில் ஏற்படும் கதிமாற்றம் அதன்மீது சக்தி தொழிற்பட்ட காலத்திற்கு ஏற்பநேராக இருக்கும் என்று தெரிகிறது.

ப்ளேட்சர் வண்டி (Fletcher's Trolley) :—இந்த கருவியில் நீண்ட பெட்டி வடிவான ஒரு வண்டி இருக்



படம் 34

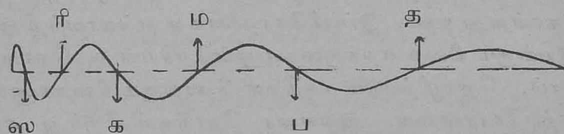
கிறது. இதன் சக்கரங்கள் மிகவும் இலேசானவை. அவற்றில் சிக்கு உண்டாகாதபடி அவை சேர்க்கப்பட் டிருக்கும். இது படுகை மட்டத்திலுள்ள ஒரு நீண்ட மரத் தண்டவாளத்தின்மீது ஓடும். ஒரு சரட்டின் நுனியை இதிலே கட்டி, அச் சரட்டைத் தண்டவாளத் தின் ஒரு முனையிலுள்ள ஒரு சகடையின் மேலே படிய வைத்து, அதன் மற்ெருரு நுனியில் ஒரு நிறையைக்

கட்டித் தொங்கவிட்டிருக்கும். வெவ்வேறு நிறைகளைத் தொங்கவிட்டு, இவ்வண்டியின்மீது தொழிற்படும் சக்தியை, நாம் விரும்பியவாறு மாற்றலாம். இவ்வண்டியின் பக்கத்திலுள்ள துளைகளில், கனமான உலோக உருளைகளை யிட்டு, வண்டியின் நிறையையும் நாம் விரும்பியபடி மாற்றலாம். இயங்கும் நேரத்தையும் தூரத்தையும் உருவக முறையில் (Graphical method) கண்டு அளவிடலாம். இதற்காக ஒரு நீண்ட உலோகப் பட்டையொன்று, வண்டியின் மேலே தண்டவாளத்திற்கு இணையாக, ஒரு முனையில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இதன் மற்றொரு முனையில் ஒரு தூரிகை (brush) இணைக்கப்பட்டிருக்கும். வண்டியின்மீது ஒரு வெள்ளைத் தாள் ஒட்டப்பட்டிருக்கும். மை பூசப்பட்ட தூரிகையின் நுனி இந்தத் தாளை மெதுவாக தொடக்கூடும். வண்டி நகர்ந்து ஓட ஆரம்பிக்கும்போது, உலோகப் பட்டையின் நுனியையும் துடிக்கச் செய்ய வேண்டும். இதனால் அலை போன்ற ஒரு வரை கோடு வெள்ளைத்தாளின்மீது ஏற்படும். இப்பட்டை ஒரு முறை துடிப்பதற்கு ஆகும் நேரம் சிரானது. ஆகையால் இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே ஏற்பட்ட முழுத் துடிப்புகளை, அந்த இடைத் தூரத்தைக் கடப்பதற்கு ஆன நேரத்தின் அளவாகக் கொள்ளலாம். ஓடத் துவக்கியதிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தொகையான துடிப்புகள் நிகழுவதற்குள், வண்டி சென்ற தூரத்தை அளந்து, முடுக்கமாகிய $2S/t^2$-ஐக் கண்டு பிடிக்கலாம்.

இதிலே இயங்கும் மொத்த நிறை வண்டியின் நிறையையும், தொங்குகிற எடையின் நிறையையும், சரட்டின் நிறைய்யும் கூட்டினாற் கிடைக்கும். இதனோடு சகடையின் ஒப்புமை நிறையையும் கூட்டிக் கொள்ளவேண்டும். ஆனால் பொதுவாக வண்டியின் நிறையை நோக்க, மற்றவற்றின் நிறை மிக அற்பமாய்

இருக்குமாதலின், அவற்றை விட்டுவிடலாம். இதில் தொழிற்படும் சக்தி, தொங்குகிற நிறையின் எடையும், தொங்கும் சரட்டின் எடையும் ஆகும். ஆகையால் இதில் உபயோகிக்கும் சரடு மெல்லியதாய் ஆனல் உறுதியுள்ளதாய் இருக்கவேண்டும். தொங்கும் சரட்டின் எடைக்கு ஈடு செய்வதற்காக, அதன் பொதுமை நீளத்தைக் கண்டு, அதன் நிறையைத் தொங்கும் நிறையோடு கூட்டிக்கொள்ளவேண்டும். நமக்கு ஒப்புறவு மதிப்புகளே (relative values) வேண்டியிருப்பின், உலோகப்பட்டையின் துடிப்புப்பொழுதையே நேர அலகாகக் கொள்ளலாம். ஆனல் மூல அலகுகளில் விடை வேண்டியிருந்தால், உலோகப்பட்டையின் துடிப்புப் பொழுதைத் தனியே அளவிட்டு அதனல் பெருக்கிக் கொள்ளவேண்டும். பொதுவாக இவ்விதப் பட்டைகளின்மேலேயே, அதைச் செய்தவர்களால், அவற்றின் துடிப்புப் பொழுதாவது அல்லது அடுக்கமாவது எழுதப்பட்டிருக்கும். இதையே நாமும் மேற்கொள்ளலாம்.

முடுக்கமாகிய $\frac{2S}{t^2}$ என்னும் ராசியைக் காண்பதற்கு, துவக்கத்திலிருந்து அளக்கவேண்டிய அவசியமில்லை. இவ்வளைவுகோட்டின் எந்தப் புள்ளியிலிருந்தும் தொடங்கி அளக்கலாம். (படம் 35).




படம் 35

ஸ-என்ற புள்ளியின்மீது தூரிகை சென்றபோது, வண்டியின் கதி $u$-என்று கொள்வோம். ஸக-என்னும் தூரம் ஸ-வுக்குப் பிறகு ஒரு துடிப்பு நேரத்தில் கடக்கப்பட்டது. ஸப-என்பது ஸ-வுக்குப் பிறகு இரண்டு

துடிப்பு நேரத்தில் கடக்கப்பட்டது. ஆகையால் $a$ என்பது முடுக்கமானல்,

$$\text{ஸக} = ut + \tfrac{1}{2}at^2$$
$$\text{ஸப} = 2ut + \tfrac{1}{2}a \times 4t^2$$

இதிலே $t$ என்பது துடிப்புப்பொழுது.

$(\text{ஸப} - \text{ஸக}) = at^2$; அல்லது $a = \frac{\text{ஸப} - \text{ஸக}}{t^2}$; இதைப் போலவே ரிம, ரித இவைகளை அளந்தும் முடுக்கைக் கணக்கிடலாம். ஆகையால் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியிலிருந்து இரண்டு வெவ்வேருன இடைக்காலங்களில் கடக்கப்பட்ட தூரத்தைக்கொண்டு முடுக்கத்தைக் காணலாம்.

## ப்ளேட்சர் வண்டியைக்கொண்டு செய்யக்கூடிய பரிசோதனைகள்

முடுக்கம் தொழிற்படும் சக்திக்கு ஏற்பநேராக இருக்கும் என்று காட்ட :—வண்டியின்மீது வெள்ளைத் தாளை ஒட்டி, முறையே 10, 20, 30, 40 கிராம் நிறைகளைக் கட்டித் தொங்கவிட்டு, ஒவ்வொன்றிற்குரிய வரைகோட்டைத் தயாரிக்கவும். இவற்றையெல்லாம் ஒரே தாளில் ஒரே புள்ளியிலிருந்து துவக்கி வரும்படியாகக் கொள்வது நலம். இப்பரிசோதனைகள் எல்லாவற்றிலும் இயங்கும் நிறை ஏறக்குறைய ஒன்றேயென்று கொள்ளலாம். தொழிற்படும் சக்திகள் தொங்கும் நிறைகளுக்கு ஏற்பநேரானவை. இவ்வரை கோடுகளிலிருந்து நாம் காட்டக்கூடியன வருமாறு :

(1) ஒரே நேரத்தில் கடக்கப்பட்ட தூரங்கள் தொங்கும் நிறைகளுக்கு ஏற்ப நேரானவை.

(2) ஒவ்வொரு பரிசோதனையிலும் $2S/t^2$ ஒரு மாறிலியாகும். இம்மாறிலிகள் ஒவ்வொன்றும் அவ்

வவ்வற்றிற்குரிய தொங்கும் நிறைகளுக்கு ஏற்பநேராக வுள்ளவை.

திருத்தமான முடிவுகள் வரவேண்டுமானல் உராய் வினல் உண்டாகும் சிக்கலைக் கூடியவரை குறைக்க வேண்டும். அல்லது அதற்கு ஈடு செய்யவேண்டும். இதற்காக ஒரு சிறு செப்புக்கம்பித்துண்டு, சிக்கல் சாரியாகத் தொங்கும் நிறையின்மீது வைக்கப்படும். இதைமட்டும் தொங்கவிட்டு, வண்டியைச் சிறிது நகர்த்திவிட்டால், அது சீரான கதியோடு இயங்கும்படி யாக சிக்கல்சாரியின் நிறை இருக்கவேண்டும்.

ஒரே சக்தியினல் ஏற்படும் முடுக்கம் பொருள்க ளின் நிறைகளுக்கு எதிர்விகிதமாக இருக்கும் என்று காட்ட :—ஒரே நிறையைக் கட்டித் தொங்கவிட்டு, ஒவ் வொரு முறையும் வண்டியின்மீது வெவ்வேறு நிறை களை ஏற்றிவைத்து, அவைகளுக்குரிய வரைகோடுகளை எடுக்கவும். ஒவ்வொரு வரைகோட்டிலிருந்தும் அதன் முடுக்கத்தை அளந்து, இயங்கும் நிறைக்கும் முடுக்கத் திற்குமான பெருக்கம் மாறிலியாகும் என்று காட்ட வும். பொதுவாக சகடை, சக்கரங்கள் இவைகளின் ஒப்புமை நிறைகளையும் சரட்டின் நிறையையும் தள்ளி விடலாமாயினும், அவை தெரிந்திருந்தால் அவற்றை யும் கணக்கீட்டிலே உட்படுத்திக்கொள்ளலாம். அப் போது $(M+m_1+x+y)\,a_1=(M+m_2+x+y)\,a_2$ என் ருகும். இதிலே M என்பது வண்டியின் நிறை. $m_1$, $m_2$ என்பன அதன் மேலிடப்பட்ட நிறைகள். $x$ என்பது சகடையின் ஒப்புமை நிறை. $y$ என்பது சக்கரங்களின் ஒப்புமை நிறை.

---

'$g$'-யைக் காண :—$2\,S/t^2$ என்னும் ராசியை செ.மீ./செக$^2$ என்னும் அலகிலே கணக்கிட்டால் $g$ என்

னும் பூமிக்கவர்ச்சி முடுக்கத்தைக் காண்பது சாத்திய மாகும்.

$mg = (M+m+x+y)\frac{2S}{t^2}$ என்பதை நாமறி வோம். இதிலிருந்து $g$-யின் மதிப்பை கணக்கிடலாம். ஆனால் $x$, $y$ என்னும் ராசிகளைத் திருத்தமாக அறிவது அருமை. மேலும் துடிகோலின் துடிப்புப் பொழு திற்கு அதன்மேல் எழுதி இருப்பதையே நாம் நம்ப வேண்டியிருக்கிறது. ஆகையால் இந்த முறையில் கண்ட $g$-யின் மதிப்பு திருத்தமாக இருப்பதில்லை.

உதாரணம் 1:—படுகை மட்டமானதொரு மேஜை யின்மீது 17 பவு. நிறை கொண்டதொரு பொருள் நிற் கிறது. இதனோடு இணைக்கப்பட்ட ஒரு மெல்லிய சரடு மேஜையின் ஓரத்தில் கீழிறங்கி 8 பவு. நிறை கொண்ட தொரு பொருளைத் தாங்குகிறது. சரட்டிலேற்படும் முடுக்கத்தைக் காண்க.

தொழிற்படும் சக்தி $F = 8g$ டைன்.

இயங்கும் நிறை $m = 17 + 8 = 25$ பவு.

இதன் முடுக்கம் $a$ என்று கொண்டால்

$$F = ma.$$

அதாவது $8g = 25 \times a$

அல்லது $a = \frac{8g}{25} = \frac{8 \times 32}{25} = 10{\cdot}24$ அடி/செக$^2$.

உதாரணம் 2:—ஒரு அட்வுட் யந்திரத்திலே கையாளப்பட்டுள்ள நிறைகள் ஒவ்வொன்றும் 240 கிராம். இவற்றிலே ஒரு நிறையோடு 10 கிராம் நிறை

யைக் கூட்ட, அது 10 செகண்டுகளிலே 10 மீடர் கீழே இறங்கிற்று. இதிலிருந்து $g$-யின் மதிப்பு காண்க.

கடந்து சென்ற தூரம் $S = 10$ மீடர் $= 1000$ செ.மீ.

இதற்கான நேரம் $t = 10$ செக.

இதன் முடுக்கம் $a$ என்று கொள்வோம்.

$$S = \frac{1}{2}at^2$$

அதாவது $1000 = \frac{1}{2}a \cdot 10^2$

அல்லது $a = 20$ செ.மீ./செக$^2$.

இந்த முடுக்கத்தோடு இயங்கிய பொருள்களின் நிறை $m = 240 + 240 + 10 = 490$ கிராம். இந்த முடுக்கத்தை ஊட்டிய சக்தி $F = 10\,g$ டைன்.

ஆனால் $F = ma$

ஆகையால் $10\,g = 490 \times 20$

அல்லது $g = \dfrac{490 \times 20}{10} = 980$ செ.மீ./செக$^2$.

---

## வினக்கள்

1. ஒவ்வொன்றும் 2 அவு. நிறை கொண்ட இரண்டு தட்டுகள் ஒரு லேசான சரட்டிலே தொடுக்கப்பட்டு ஒரு சிக்கலற்ற நிலையான சகடையின் இருபுறங்களிலும் தொங்குகின்றன. ஒரு தட்டிலே 10 அவு. நிறையும் மற்றொன்றிலே 4 அவு. நிறையும் வைக்கப்பட்டன. அவற்றின் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுக.

2. 12 அவு. நிறைகள் இரண்டு, ஒரு நிலையான சரட்டின் இரு புறங்களிலும் ஒரே சரட்டினால் இணைக்கப்பட்டுத் தொங்குகின்றன. ஒரு நிறையின்மீது 8 அவு. நிறை சேர்த்துவைக்கப்பட்டது. இது 10 அடி தூரம் நகருவதற்கு எவ்வளவு நேரமாகும்? அப்போது அதன் கதி யாதாகும்.

3. நிலக்கவர்ச்சி முடுக்கத்தை அட்வுட் இயந்திரத்தால் காணும் முறையை விளக்குக. ஒரு சகடையின் இரு புறங்களிலும் 300 கிராம் நிறைகள் தொங்குகின்றன. சகடையின் சிக்கல் பின்னும் 70 கிராம் நிறைக்குச் சமமென்று கொள்ளலாம். ஒரு புறத்திலே 5 கிராம் நிறையைச் சேர்த்தால் ஏற்படக்கூடிய முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுக.

($g$-யின் மதிப்பு 978 செ.மீ./செக$^2$ என்று கொள்ளலாம்)

(சென்னை 1922 செப்.)

4. முடுக்கம், சக்தி என்னும் பதங்களால் நீ என்ன தெரிந்து கொள்கிறாய் என்பதைத் திருத்தமாகக் கூறவும்.

ஒரு அலுமினியத்தாலான ரவை உள்ளாழி கொண்ட சகடையின்மீது செல்லும் இலேசானதொரு சரட்டின் நுனிகளிலே, இரண்டு சமமான நிறைகள்

தொங்கவிட, இந்தக் கருவியைக்கொண்டு ஒரு இயங்கும் பொருளின் முடுக்கத்திற்கும், அதன்மீது தொழிற் படும் சக்திக்குமுள்ள தொடர்பை எவ்வாறு காட்டலா மென்று முற்றும் விவரிக்க.

(சென்னை 1920 மார்ச்.)

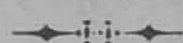
5. 'சக்தி' என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலும், மெட்ரிக் திட்டத்திலும் இதை அளப்பதற்குரிய தனியியல் அலகுகளும் கவர்ச்சி அலகு களும் யாவை?

15 பவு. நிறையுள்ளதொரு சிறு சகடம் வழுவழுப் பானதொரு மேஜையின்மீது நிற்கிறது. இதிற் கட்டி யுள்ளதொரு சரடு, மேஜையின் ஓரத்திலுள்ள சகடை யைச் சுற்றிக் கீழே சென்று, தரையிலிருந்து 4 அடி உயரத்திலே 1 பவுண்டு நிறையைத் தாங்குகிறது. சகடை விடுபட்ட பிறகு இந்நிறை பூமியைத் தொட எவ்வளவு நேரமாகுமென்று கணக்கிடுக.

(சென்னை 1928 செப்.)

---

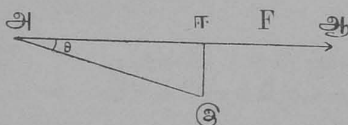
# அத்தியாயம் 6



## வேலையும் ஆற்றலும் (Work and Energy)

ஒரு பொருளிலே உந்தம் உண்டாக்கப்படும்போது, அவ்வாறு உந்தத்தை யுட்கொள்ளும் புள்ளி நகர்ந்தால் பொதுவாக வேலை செய்யப்படுவதாகக் கூறப்படும். உந்தமாறுபாடு வீதமே அப்பொருளின்மீது தொழிற்படும் சக்தியை அளப்பதால், ஒரு பொருளிலே செகண்டிற்கு F அலகுகள் கொண்ட உந்தம் உட்கொள்ளப்பட்டால், அதன்மீது தொழிற்படும் சக்தியின் அளவு F அலகுகள் ஆகும். இவ்வுந்த மாறுபாடு நிகழும் இடத்தையே சக்தியின் பிரயோக-நிலை (Point of application) என்று கூறுவார்கள். ஆகையால் ஒரு பொருளின்மீது ஏதேனுமொரு சக்தி தொழிற்படும்போது அதன் பிரயோக-நிலை இயங்கினல் வேலை செய்யப்படுவதாகக் கூறலாம். சக்தியின் அளவையும், சக்தி தொழிற்படும் திசையிலே பிரயோக-நிலைக்கு ஏற்பட்ட பெயர்ச்சியின் அளவையும், பெருக்கிவந்த தொகையே அச்சக்தியினுல் செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு ஆகும்.

F என்னும் ஓர் சக்தி அ என்னும் புள்ளியிலே தொழிற்படுவதாகவும், அதன் திசை அ ஆ என்றும் கொள்வோம். இதனுல் பிரயோக-நிலையாகிய அ, S என்னும் தூரம் நகர்ந்து இ என்னுமிடத்தைச் சேர்ந்துவிட்டதாகவும் அ இ-க்கும் அ ஆ-வுக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் $\theta$ என்றும் கொள்வோம். எனவே F செய்த வேலையைக் கணக்




படம் 36(1)

கிடவேண்டுமானால், இதையும் அ ஆ என்ற திசையில் பிரயோக-நிலைக் கேற்பட்ட பெயர்ச்சியையும் பெருக்க வேண்டும். பிரயோக-நிலையின் பெயர்ச்சி அ இ என்ற திசையில் S ஆகும். அ ஆ என்ற திசையில் இதன் பிரி நிலை S Cos $\theta$ ஆகும்.

ஆகையால் இச் சக்தி செய்த வேலையின் அளவு

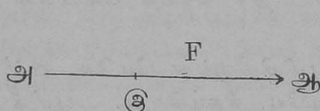
F.S Cos $\theta$ ஆகும்.

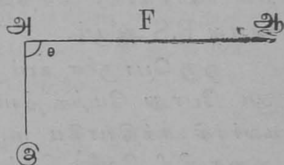
இதனாலேற்படும் சில விவரங்களை ஆராய்வோம்.

(1) பிரயோக-நிலை சக்தி தொழிற்படும் திசையிலேயே நகர்தல் .(படம் 36 (2)).

இப்போது $\theta = 0$ ஆகும். ஆகையால் Cos $\theta = 1$

எனவே F.S Cos $\theta$ = F.S




படம் **36**(2) படம் **36**(3)

இதில் சக்தியையும் பெயர்ச்சியையும் பெருக்கி வந்த தொகையே சக்தி செய்த வேலையாகும்.

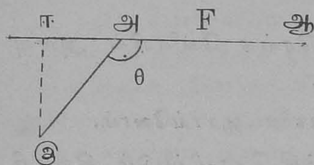
(2) பிரயோக-நிலை சக்தியின் திசைக்குச் செங்குறுக்காக நகர்தல். (படம் 36 (3)).

இப்போது $\theta = 90$ ஆகையால் Cos $\theta = 0$

எனவே FS Cos $\theta = 0$ ஆகும்.

இதில் சக்தி செய்த வேலை சூனியமாகும். எனவே பிரயோக-நிலை சக்தியின் திசைக்குச் செங்குறுக்கே நகருவதற்காக சக்தி செய்யும் வேலை ஒன்றுமில்லை என்பது தெரிகிறது.

(3) சக்தியின் திசைக்கும் பிரயோக-நிலையின் பெயர்ச்சிக்கும் இடைப்பட்டது விரிகோணமாதல். (Obtuse angle). *(படம் 36 (4)).* இப்போது $\theta > \pi/2$ ஆகையால் $\text{Cos}\,\theta$ எதிர்மறை ராசியாகும். எனவே F.S $\text{Cos}\,\theta$ எதிர்மறை ராசியாகும். இதன்படி சக்தி வேலை செய்ததாக ஆகிறது. இதன் பொருள் யாதெனில், சக்தி வேலை செய்வதற்குப் பதிலாக சக்திக்கு எதிராக வேலை செய்யப்பட்டிருக்கிறது என்பதேயாம்.



படம் 36 (4)

(4) பிரயோக-நிலை சக்திக்கு நேர் எதிர்த் திசையில் நகர்ந்தால், சக்தியை மீறிச் செய்த வேலையின் அளவு F.S ஆகும்.

ஒரு பொருளை நாம் பூமியிலிருந்து மேலே தூக்கும் போது மேற்கூறியபடியே நிகழ்கிறது. பூமிக் கவர்ச்சி சக்தியாகிய $mg$ கீழ்நோக்கி இழுக்க, நாம் அதை மீறி வேலை செய்து பொருளை மேலே தூக்குகிறோம்.

வேலையின் அளவுக்குக் கூறப்பட்ட வாய்பாட்டிலே நேரத்தைக் குறிக்கும் குணியம் (factor) ஏதும் இல்லையென்பதைக் கவனிக்கவேண்டும். இதனால் வேலையின் அளவு அது செய்யப்பட்ட நேரத்தின் அளவைச் சார்ந்ததல்ல என்பது விளங்கும்.

வேலையலகுகள் :—ஒரு பொருளின்மீது ஓர் அலகுச் சக்தி தொழிற்படும்போது அதன் பிரயோக-நிலை சக்தியின் திசையிலே ஒரு அலகு தூரம் நகர்ந்தால், ஒரு அலகு வேலை செய்யப்பட்டதாகும். ஆகையால் வேலையலகின் அளவு சக்தியலகையும் நீள அலகையும் உட்கொண்டதாகும்.

மெட்ரிக் அலகு :—இத் திட்டத்திலே ஒரு பொருளின்மேல், ஒரு டைன் கொண்ட சக்தி தொழிற்படும் போது, அப்பொருள் சக்தியின் திசையிலே ஒரு செண்டிமீடர் தூரம் நகர்ந்தால், ஒரு அலகு வேலை செய்யப்பட்டதாகும். இதை ஒரு எர்க்கு (Erg) என்று சொல்வார்கள். இது மிகச் சிறியதொரு அளவு. ஆகையால் நாம் சாமானியமாகக் கையாளுவதற்கு இது பயன் படாது. இதற்காக எர்க்கின் கோடி மடங்கான ஜூல் (Joule) என்னும் மற்றொரு அலகே எப்போதும் கையாளப்படுகிறது.

பிரிட்டிஷ் திட்டம் :—ஒரு பொருளின்மீது ஒரு பவுண்டல் கொண்ட சக்தி தொழிற்பட்டபோது, அப்பொருள் சக்தியின் திசையிலே ஒரு அடி தூரம் நகர்ந்தால், ஒரு அடிப் பவுண்டல் (Foot-Poundal) அளவு வேலை செய்யப்பட்டதாகக் கூறப்படும். இதுவே பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலே வேலை-அலகு ஆகும்.

நிலக்கவர்ச்சி அலகுகள் :—ஒரு குறித்த எடையைப் பூமியிலிருந்து ஒரு குறித்த தூரம் தூக்குவதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலையே, பூமிக்கவர்ச்சி அலகு ஆகும். மெட்ரிக் திட்டத்திலே ஒரு கிராம் எடையை, ஒரு செண்டிமீடர் உயரம் பூமியிலிருந்து தூக்குவதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலைக்கு, ஒருகிராம்-செண்டிமீடர் என்று பெயர். இது மிகச் சிறிய அலகாகையால், ஒரு கிலோகிராம் எடையை ஒரு மீடர் உயரம் தூக்குவதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலையாகிய கிலோகிராம்-மீடர் என்னும் அலகே, பெரிதும் கையாளப்படுகிறது.

பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலே ஒரு பவுண்டு எடையை ஒரு அடி உயரம் தூக்குவதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலை ஒரு அலகாகக் கொள்ளப்படும். இதற்கு 'அடிப் பவுண்டு' (Foot-Pound) என்று பெயர். இவையெல்

லாம் 45° அட்சரேகை (latitude)ப் பிரதேசத்தில் கடல் மட்டத்தில் செய்யப்படுவனவாகக் கொள்வது வழக்கம். பூமிக்கவர்ச்சி முடுக்கமாகிய $g$, பூமியின் மேற்பரப்பில் இடந்தோறும் வேறுபடுவதால், இவ்வலகுகளின் அளவும் சிறிது வேறுபடும். ஆனால் இவ்வலகுகள் கையாளப்படும் துறைகளில், இவ் வேறுபாடுகள் மிக அற்பமானவையாதலால் கவனிக்கப்படுவதில்லை.

பொதுவாக

**1** கிராம்-செ. மீடர் = **981** எர்க்கு என்றும்,

**1** அடிப்பவுண்டு = **32·2** அடிப்பவுண்டல்

என்றும் கொள்ளலாம்.

செய்யப்பட்ட வேலையை உருவகத்தால் காட்டுதல் :—ஒரு பொருளின் கதி சீரானதாய் $v$ என்னும் அளவு கொண்டு இருந்தால், $t$ என்னும் நேரத்தில் அது கடந்து செல்லும் தூரம் $vt$ ஆகும் என்றும், கதி மாறியலாய் இருப்பின், அதன் கதி வரைக்கும் கால இருசுக்கும் இடையே, இடை நேரத்தின் ஆதியந்தங்களைக் குறிக்கும் நிலுவைகளுக்குட்பட்ட பரப்பே, அப்பொருள் கடந்துசென்ற தூரத்தைக் காட்டுமென்றும், முன்னொரு அத்தியாயத்தில் நாம் கண்டோம். இப்போது F என்னும் அளவுகொண்ட சீரான சக்தி தொழிற்பட, பிரயோக நிலை சக்தியின் திசையில் S என்னும் தூரம் நகர்ந்தால், அது செய்யும் வேலை FS என்று கண்டோம். F என்னும் ஒரு சக்தி மாறியலாய் இருப்பின், பிரயோக நிலையையும் சக்தியின் அளவையும் காட்டும்படியான ஒரு உருவகம் வரைந்து, அதிலேற்படும் வரைக்கும் படுகை இருசுக்கும் இடையே பிரயோக நிலையின் ஆதியந்த நிலைமைகளைக் குறிக்கும் நிலுவைகளுக்குட்பட்ட பரப்பே, இதற்குள் செய்யப்பட்ட வேலையைக் காட்டும் என்று நாம் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

விசை (Power):—செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு அது செய்யப்படும் நேரத்தைச் சார்ந்தது அல்லவென்றும், சக்தி சீரானதாய் இருக்கும் வரையில், இடப் பெயர்ச்சி ஒரு செகண்டிலோ அல்லது ஒரு வருஷத்திலோ நிகழ்வதால், யாதொரு வேற்றுமையும் இல்லையென்றும் நாம் முன்பு கூறினோம். ஆனால் ஒரு டன் எடையை ஒரு செகண்டிலே தூக்கி விடக்கூடிய ஒரு பாரம் தூக்கும் யந்திரத்திற்கும், அதையே ஒரு நிமிஷ நேரத்தில் தூக்கக்கூடிய மற்றொரு யந்திரத்திற்கும், பெரிதும் வேற்றுமையுண்டு என்பதை நாமறிவோம். ஆகையால் வேலை செய்யும் வேகம் என்னும் கருத்தையும் நாம் கையாள வேண்டுவது அவசியமாகிறது.

ஒரு சாதனம் அல்லது யந்திரம் ஒரு செகண்டில் செய்யும் வேலையை, அதன் விசையென்று கூறுவார்கள். ஆகையால் ஒரு சாதனம் செய்த வேலையினளவை, அதற்கான நேரத்தால் வகுக்க, அதன் விசை இன்னதென்று கிடைக்கும். எனவே மேற்காட்டிய உதாரணத்திலே ஒரு யந்திரம் மற்றொன்றை விட அறுபது மடங்கு விசை கொண்டதாகும்.

விசையின் இலக்கணம்:—ஒரு சாதனத்தின் விசை சீரானதாய் இருப்பின், ஒரு செகண்டில் செய்யப்படும் வேலையே அச்சாதனத்தின் விசையெனப்படும். அது மாறியலாயின், ஒரு மிகச் சிறிய கால வெல்லையில் செய்யப்பட்ட வேலையை, அக்கால வெல்லையால் வகுக்க வரும் ஈவே, அச்சாதனத்தின் விசையென்னலாம்.

ஒரு 'குதிரை விசை' (Horse-Power) என்பது சாமானியமாய் வழங்கப்படும் ஒரு விசையலகு ஆகும்.

ஒரு செகண்டிலே **550** அடிப்பவுண்டு வேலை செய்யப்பட்டால், வேலைசெய்யும் வேகம் ஒரு ‘குதிரை விசை’ யாகும்.

மெட்ரிக் அலகு :—மெட்ரிக் திட்டத்தில் சாமானியமாய் வழங்கப்படும் விசையலகு ஒரு ‘வாட்டு’ (watt) ஆகும். ஒரு செகண்டிலே ஒரு ஜூல் வேலைசெய்யப்பட்டால், அதன் விசை ஒரு வாட்டு எனப்படும். ஆகையால் ஒரு வாட்டு என்பது செகண்டிற்கு ஒரு கோடி எர்குகள் ஆகும்.

ஒரு ஜூல் என்பது சுமார் 737 அடிப்பவுண்டுகள் என்று கூறலாம். ஆகையால் ஒரு வாட்டு என்பது செகண்டிற்கு 737 அடிப் பவுண்டுகளாகும். எனவே ஒரு குதிரை விசை சுமார் **746** வாட்டுகளாகும்.

விசையை அளவிடுதல் :—சக்தியையும் பெயர்ச்சியையும் பெருக்க வேலையினளவு கிடைக்குமாகையால், சக்தியையும் பெயர்ச்சி வீதத்தையும் பெருக்கி, விசையினளவைக் கணக்கிடலாம். பெயர்ச்சி வீதமே கதியாகும். ஆகையால் ஒரு பொருளின் மீது தொழிற்படும் சக்தியையும், சக்தியின் திசையில் அப்பொருள் இயங்கும் கதியையும் பெருக்க, விசையின் அளவு கிடைக்கும்.

வேலைக்கும் விசைக்குமுரிய வாய்பாடுகள் :—

$m$ என்னும் நிறைகொண்டதோரு பொருள் சீரான முடுக்கத்தோடு $v$ என்னும் கதியை அடைந்தால் அதில் செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு $\frac{1}{2}mv^2$ என்று காட்ட :—இப் பொருளின்மீது தொழிற்படும் சக்தி F என்றும், பொருளின் சீரான முடுக்கம் $a$ என்றும், $v$ என்னும் கதியை அடையுமுன் அப் பொருள் கடந்து சென்ற தூரம் S என்றும் கொள்வோம்.

இதில் செய்யப்பட்ட வேலை $W = F.S.$ என்பது தெளிவு.

ஆனால் $F = m.a$, ஆகையால் $W = m.a.S$ ஆகும். இப்பொருள் சூனிய கதியிலிருந்து சீரான முடுக்கத்தோடு $v$ என்னும் கதியை அடைந்திருப்பதால், $v^2 = 2\,aS$ ஆகும். ஆகையால் $a.S = \frac{v^2}{2}$ இதை முன்னே கண்ட உறவில் ஈடிட வேலை $W = m.a.S = \frac{1}{2}mv^2$ ஆகும்.

பொருள் முதலிலேயே $u$ என்னும் கதியோடு இயங்கிக்கொண்டிருந்தால் :—இப்போது வேலை

$$W = F.S = maS,$$

ஆனால் $v^2 = u^2 + 2aS$ அல்லது

$$aS = \frac{v^2 - u^2}{2} \text{ ஆகும்.}$$

ஆகையால் $u$ என்னும் கதியோடு இயங்கிய பொருள் சீரான முடுக்கத்தால் $v$ என்னும் கதியை அடைவதற்காகச் செய்யவேண்டிய வேலை

$$W = maS = \frac{m(v^2 - u^2)}{2} \text{ ஆகும்.}$$

ஒரே நேர்க்கோட்டில் சீரான $a$ என்னும் முடுக்கத்தோடியங்கும் பொருளின்மீது செய்யப்படும் வேலையின் வேகம் :—ஏதேனுமொரு நொடியில் அப்பொருளின் கதி $v$ என்றும், அதன்மீது தொழிற்படும் சக்தி $F$ என்றும், $t$ என்பது இயங்கத் துவக்கிய நொடியிலிருந்து கழிந்த நேரமென்றும், $S$ என்பது கடந்த தூரமென்றும் கொள்வோம். எனவே விசை = வேலையின் வேகம் $= F.v = mav$.

$$\frac{mv^2}{t} = ma^2t = \frac{2maS}{t} = ma\sqrt{2aS}.$$

ஆற்றல் (Energy):—ஒரு பொருள் தானே வேலை செய்யக்கூடிய நிலைமையில் இருந்தால் அது 'ஆற்றல்' கொண்டிருப்பதாகக் கூறப்படும். ஒரு பொருளின் ஆற்றல் என்பது அதன் வேலைசெய்யக்கூடிய திறமையாகும். எனவே ஒரு பொருளின் ஆற்றலை அறிய வேண்டுமாயின், அதை வேலைசெய்யவிட்டு, அது செய்த வேலையை அளக்கவேண்டும். ஆகையால் பொருள்களின் ஆற்றலை அளப்பதற்கு வேலையின் அலகுகளே பயன்படுகின்றன. தனியியல் திட்டத்தில், எர்க்கும் அடிப்பவுண்டலும், கவர்ச்சித் திட்டத்தில், கிலோகிராம்-மீடர் அடிப்பவுண்டுகளும் இதற்காகக் கையாளப்படும்.

இயக்க ஆற்றலும் நிலைப்பு ஆற்றலும் :—(Kinetic Energy and Potential Energy) :—ஆற்றல் கொண்ட பொருள்களைப் பொதுவாக இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். (1) தம்முடைய இயக்கத்தினால் வேலைசெய்யக்கூடிய திறமையைப் பெற்றவை. இவை வேலைசெய்து வரும்போது அவற்றின் கதி குறைந்துவிடும். இத்தகைய பொருள்களின் ஆற்றலை இயக்க ஆற்றல் என்று கூறுவார்கள். (2) தம்முடைய நிலையினால் அல்லது இயக்கமல்லாத வேறொரு காரணத்தால், வேலைசெய்யும் திறமையைப் பெற்றவை. இத்தகைய பொருள்களின் நிலை மாறுபாட்டால் அவை வேலை செய்யும். இவற்றின் ஆற்றல் நிலைப்பு ஆற்றல் எனப்படும்

பாய்ந்து செல்லும் ஒரு துப்பாக்கிக்குண்டு தனது கதியினால் வேலை செய்யும் ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. இது ஒரு மரக்கட்டையில் மோதினால் அதைத் துளைத்துவிடுகிறது. இத்துளைத்தலாகிய வேலையிலே அதன் ஆற்றல் செலவழிந்துவிடவே, அதன் கதியும் குறைந்து சூனியமாய்விட , ஆற்றலிழந்த குண்டு கட்டையினுள் பதிந்து நின்றுவிடுகிறது.

நிற்க, தரைக்குமேலே உயரத்திலே ஒரு பெரிய நீர்த் தேக்கம் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். இந்நீர்த் தேக்கம் தனது நிலையினால் வேலை செய்யும் திறமைபெற் றிருக்கிறது. குழாய்களின் வழியாக இந்த நீரைக் கீழே கொண்டுவந்து வெளிவிட்டால், அதைக்கொண்டு பெரிய பல்லுருளைகளை (Turbines) இயக்கி, யந்தி ரங்களை ஓடச்செய்யலாம். இதே நீர்த்தேக்கம் தரை மட்டத்திலிருப்பின், அதனால் ஒரு வேலையும் செய்ய வியலாது. எனவே இந்நீர்த் தேக்கத்தின் வேலைசெய் யும் திறமை அதன் நிலையினால் ஏற்பட்டது. நாம் முன்னே கூறியபடி இது நிலைப்பு ஆற்றலாகும்.

$v$ என்னும் கதியோடு இயங்கும் ஒரு பொருளின் ஆற்றலைக் காண :—அப்பொருளின் நிறை $m$ என்று கொள்வோம். இந்தப்பொருளின்மீது F என்னும் சீரானதொரு சக்தி தொழிற்பட்டு, அதை S என்னும் தூரத்தில் ஓடாது முற்றிலும் நிறுத்திவிடுவதாகக் கொள்வோம். இச்சக்திக்கு எதிராகச் செய்யப்பட்ட வேலை FS ஆகும். இதுவே ஓடும் பொருளை நிறுத்துவ தற்காகச் செய்த வேலையாம்.

சக்தி $F = ma$. மற்றும் $2\,a.S = v^2$

ஆகையால் $S = \frac{v^2}{2a}$

எனவே செய்யப்பட்ட வேலையாகிய,

$$W = F.S = \frac{m.a.v^2}{2a} = \tfrac{1}{2}mv^2.$$

இதனால் $v$ என்னும் கதியோடு இயங்கும் $m$ என் னும் நிறைகொண்ட பொருளின் இயக்க-ஆற்றல் $\frac{1}{2}mv^2$ ஆகும்.

மேலேற்றப்பட்ட பொருளின் நிலைப்பு ஆற்றல் :— ஒரு பொருளைப் பூமியிலிருந்து மேலே தூக்கினுல் அது ஆற்றலை அடைகிறது. இத்தகைய பொருள்களின் ஆற்றலை அளக்கும்போது, நிலத்தின்மீது அப்பொருள் இருக்கும்போதுள்ள ஆற்றலோடு ஒப்பிட்டுக் கூறுவது வழக்கம். நிலத்தோடு ஒட்டியிருக்கும்போது அதன் ஆற்றல் சூனியமென்று கொள்ளப்படும். $m$ என்னும் நிறைகொண்ட பொருளை, $h$ உயரத்திற்கு மேலேற்றுவதாகக் கொள்வோம். இதை நாம் தூக்கும்போது $mg$ என்னும் நிலக்கவர்ச்சி சக்திக்கெதிராக, அதை $h$ என்னும் தூரம் நகர்த்தவேண்டியிருக்கிறது. ஆகையால் நாம் செய்யவேண்டிய வேலை $mgh$ ஆகும். இந்த வேலையே அப்பொருளின் நிலைப்பு ஆற்றலாக அதனுள் மறைந்து நிற்கிறது. ஆகையால் அப்பொருள் தன்னிச்சையாக நழுவவிடப்பட்டால் இதே $mgh$ என்னும் வேலையைச் செய்யக்கூடும்

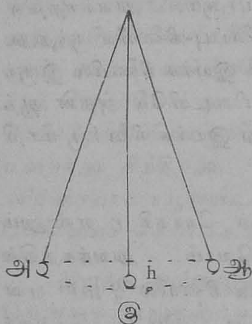
இயக்க ஆற்றலும் நிலைப்பு ஆற்றலும் ஒன்று மற்றேன்றுக மாறுதல் :—ஒரு பொருளின் ஆற்றலானது இயக்க நிலையினின்று நிலைப்பு நிலைக்கோ, அல்லது நிலைப்பு நிலையிலிருந்து இயக்க நிலைக்கோ மாறும் தன்மை வாய்ந்தது. $m$ என்னும் நிறை கொண்டதொரு பொருள் தரைக்குமேலே $h$ என்னும் உயரத்திலிருப்பதாகக் கொள்வோம். இப்போது இதன் ஆற்றல் முழுதும் நிலைப்பு-நிலையிலிருக்கிறது. அதன் அளவு $mgh$ ஆகும். அதைக் கீழே நழுவவிட்டால், அதன் நிலைப்பு ஆற்றல் வரவரக் குறைந்துவரும். ஆனுல் உடனுக்குடனே அதன் கதி அதிகரிப்பதால் அதற்கு இயக்க ஆற்றலும் ஏற்பட்டு அது அதிகரித்துவரும். S என்னும் தூரம் கீழே விழுந்தவுடன், அதன் கதி $v^2 = 2gS$ என்னும் இணைவினுல் பெறப்படும். ஆகையால் அப்பொருளின் இயக்க ஆற்றல் $\frac{1}{2}mv^2 = mgS$ ஆகும்.

இப்போது அப்பொருளின் நிலைப்பு ஆற்றல் $mg(h-S)$ ஆகும். ஆகையால் இயக்க நிலைப்பு ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகை $mgS + mg(h-S) = mgh$ ஆகும். இதுவே அப்பொருள் கீழே நழுவுமுன் இருந்த அதன் ஆற்றலாகும். அது தரைக்கருகில் வந்தவுடன் அதன் நிலைப்பு ஆற்றல் சூனியமாகும். ஆனால் அதன் கதி $v^2 = 2gh$ என்னும் இணைவின்படி $mgh$ ஆகும். ஆகையால் அப்பொருளின் எந்த நிலையிலும் அதன் மொத்த ஆற்றல் மாறிலியாகும். துவக்கத்தில் அதன் ஆற்றல் முற்றிலும் நிலைப்பு-நிலையிலிருந்தது. முடிவில் அதன் ஆற்றல் முழுதும் இயக்க நிலையில் இருந்தது. இவ்விரண்டு நிலைகளுக்குமிடையிலே அதன் ஆற்றல் சீராக நிலைப்பு நிலையிலிருந்து இயக்க நிலைக்கு மாறி வந்தது.

இதே பொருளை நாம் மேல் நோக்கி $v$ என்னும் கதியோடு எறிவதாகக் கொள்வோம். துவக்கத்தில் அதன் ஆற்றல் முழுவதும் இயக்க நிலையில் $\frac{1}{2}mv^2$ என்னும் அளவினதாய் இருக்கிறது. மேலே செல்லச் செல்ல அதன் கதி குறைந்துகொண்டே வரும். ஆனால் உடனுக்குடன் அதன் நிலைப்பு ஆற்றலும் பொருள் மேலேறுவதனால் அதிகரித்துக்கொண்டே போகும். முடிவில் பொருள் தனது உச்ச நிலையை அடைந்தவுடன், அதன் கதியும் இயக்க ஆற்றலும் சூனியமாய் விட, அதன் ஆற்றல் முழுவதும் நிலைப்பு நிலையை அடைகிறது. மறுபடியும் கீழ்நோக்கி விழுகையில் அதன் கதியும் இயக்க ஆற்றலும் வரவர அதிகரிக்கக் கீழிறங்குவதால், அதன் உயரமும் நிலைப்பு ஆற்றலும் குறைந்துவருகிறது. அது தரையை அணுகும்போது அதன் நிலைப்பு ஆற்றல் சூனியமாய்விட, இயக்க ஆற்றல் தனது முன்னை அளவை அடைந்துவிடும்.

ஒரு சாமானிய நாலத்தின் இயக்கம் இத்தகைய ஆற்றலின் சோருப மாறுபாட்டை (Change of form) நன்கு விளக்கவோர் சிறந்த உதாரணமாகும்.

வீச்சின் ஒரு ஓரத்திலே, நாலத்தின் குண்டு அ என்னும் நிலையிலிருக்கும்போது அது ஒரு நொடி நேரம் அசைவின்றி நிற்கும். (படம் 37). இப்போது அதற்கு இயக்க ஆற்றல் இல்லை. ஆனால் அது தனது தாழ்ந்த நிலைக்குமேல் $h$ என்னும் உயரம் தூக்கப்பட்டிருப்பதால் அதற்கு $mgh$ என்னும்நிலைப்பு ஆற்றல் இருக்கும். இந்த நிலையிலிருந்து திரும்பும்போது அதில் கதி தோன்றி அதிகரிப்பதால், அதில் இயக்க ஆற்றலும் தோன்றி அதிகரித்து வரும். இ என்னும் நடுநிலையில் அதன் கதியும், இயக்க ஆற்றலும் உச்ச நிலையை அடைகின்றன. நிலைப்பு ஆற்றல் சூனியமாகிவிடுவதால் அதன் ஆற்றல் முழுதும இயக்கநிலையிலேயே இருக்கும். இப்போது குண்டு மறுபுறத்தில் ஓடி மேலெழுவதால் அதன் கதியும் இயக்க ஆற்றலும் குறைந்துவர, அதன் உயரமும் நிலைப்பு ஆற்றலும் மிகுந்துவரும். ஆனால் அவற்றின் கூட்டுத் தொகை மாறிலியாய் இருக்கும்.



படம் 37

ஆ என்னும் நிலையில் கதியும் இயக்க ஆற்றலும் சூனியமாய்விட, அதன் ஆற்றல் முழுதும் மறுபடியும் நிலைப்பு-நிலையிலே நிற்கும். எனவே குண்டினது எந்த நிலையிலும் அதன் மொத்த ஆற்றல்—நிலைப்பு வகையும் இயக்க வகையும் கூடியது—மாறிலியாகவே இருக்கும்.

ஒரு வகையிலே குறைந்த ஆற்றல் மற்ெருரு வகையிலே மிகுந்து, அக் குறைவை ஈடு செய்கிறது.

ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி (Conservation of Energy) :—மேலேகண்ட இரண்டு சம்பவங்களிலும் நாம் ஓருண்மையைக் கண்டோம். ஆற்றலின் சொரூபம் மாறியபோதும் அதன் அளவு மாறவில்லே. அது சில போது முற்றிலும் இயக்க-சொரூபத்தில் தோன்று வதைக் கண்டோம். ஆயினும் அதன் மொத்த அளவு மட்டும் மாறிலியாகவே இருந்தது. இது மற்ெருரு விரிவான விதிக்குட்பட்ட ஒரு சிறப்பு வகையாகும். ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி என்று கூறப்படும் அவ் விதியை எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு :—

"இப் பிரபஞ்சத்திலுள்ள மொத்த ஆற்றல் ஓர் மாறிலியாகும்."

ஓரிடத்தில் ஒரு சொரூபத்திலுள்ள ஆற்றல் மறைந்துவிட்டதானல், அது தன்னளவிற் குறைவு படாமல் வேெருரு சொரூபத்திலே வெளிப்படும். நாம் முன்பு காட்டிய திருஷ்டாந்தத்திலே, கல்லானது பூமியை மோதியவுடன் அதன் இயக்க ஆற்றலேயும் இழந்துவிடுகிறது. ஆனல் இது ஒலியாற்றலாகவும் வெப்ப ஆற்றலாகவும் வெளிப்படும். ஒலியை நாம் காதினல் கேட்கிருேம். எனவே அவ்வாற்றல் சிறிதளவு ஒலி மாற்றலாக வெளிப்படுவது தெரியலாம். கல் விழுந்த இடத்திலே சூடு மிகுந்திருப்பது தெரியவரும். எனவே கல்லின் இயக்க ஆற்றல் மறைந்து வெப்ப ஆற்றலாக வெளிப்பட்டதையும் காண்கிருேம் ஒலி யாற்றலும் வெப்ப ஆற்றலுமாகிய இவ் விரண்டையும் நாம் கட்டுப்படுத்திக் கையாளக்கூடுமானல், அவற்றைக் கொண்டு, கல்லின் இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமமான வேலேயைச் செய்விக்கலாம்.

ஆற்றல் பல வேறு சொரூபங்களை மேற்கொள்ளக் கூடும். அவற்றில் சில வருமாறு:—இரசாயனவியல், மின்சாரவியல், வெப்பவியல் சொரூபங்கள் முதலியன.

$x$ என்னும் அளவினதாகிய A என்னும் சொரூபத்திலுள்ள ஆற்றலை, B என்னும் சொரூபத்திற்கு மாற்றும்போது, அதில் $y$ அலகுகள் கிடைத்தால் அவையிரண்டும் ஒப்புமையாக இருக்கும். அதாவது $x$ அலகுகள் கொண்ட A என்னும் ஆற்றல் செய்யும் வேலையை $y$ அலகுகள் கொண்ட B என்னும் ஆற்றல் செய்யக்கூடும்.

உதாரணம் 1:—$5\frac{1}{2}$ அவு. நிறைகொண்டதொரு கிரிக்கெட் பந்தை 80 அடி/செக. என்னும் கதியோடு எறியுமொருவன் செய்யும் வேலையினளவு யாது?

எறிபவன் செய்யும் வேலை, பந்து ஏற்றுக்கொண்ட இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமமாகும்.

பந்தின் நிறை $m = 5\frac{1}{2}$ அவு. $= \frac{5\frac{1}{2}}{16}$ பவு.

அதன் கதி $v$ = 80 அடி/செக.

பந்தின் இயக்க ஆற்றல் $W = \frac{1}{2}mv^2$

அதாவது $= \frac{1}{2} \cdot \frac{5\frac{1}{2}}{16} \cdot 80^2$.

= **1100** அடிப்பவுண்டல்.

உதாரணம் 2:—A, B என்ற இரண்டு பொருள்கள் முறையே 10 பவு., 40 பவு. நிறைகொண்டுள்ளன. 5 பவு. எடைகொண்டுள்ளதொரு சக்தி ஒவ்வொன்றின் மீதும் தொழிற்படுகிறது. இவையிரண்டிலும் ($a$) சமமான உந்தத்தையும் ($b$) சமமான இயக்க ஆற்றலையும் ஏற்படுத்துவதற்கு ஆகக்கூடிய நேரங்களை ஒப்பிடுக.

(*a*) ஒரே சக்தி எப்பொருளின்மீது தொழிற்பட்டாலும், ஒரே அளவான உந்தத்தையே ஏற்படுத்துமென்று நியூட்டன் இரண்டாவது இயக்கவிதி கூறுகிறது. எனவே ஒரே சக்தி A, B என்ற பொருள்களிலே சமமான உந்தத்தை ஏற்படுத்தும் நேரங்களும் சமமாகவே இருக்கும். அதாவது அவற்றின் தகவு 1 : 1 ஆகும்.

(*b*) சக்தி தொழிற்படத் துவக்கியபின்னர், முறையே $t_1, t_2$ செகண்டுகள் கழித்து A, B என்ற இரண்டு பொருள்களிலும், ஒரே அளவான இயக்க ஆற்றல் இருப்பதாகக்கொள்வோம்.

சக்தியின் அளவு F = 5 பவு. = $5g$ பவுண்டல்.

A-யின் நிறை $m_1 = 10$ பவு.

ஆகையால் A-யிலேற்படும் முடுக்கம்

$$a_1 = \frac{F}{m_1} = \frac{5g}{10} = \frac{g}{2} \text{ அடி/செக}^2.$$

B-யின் நிறை $m_2 = 40$ பவு.

ஆகையால் B-யிலேற்படும் முடுக்கம்

$$a_2 = \frac{F}{m_2} = \frac{5g}{40} = \frac{g}{8} \text{ அடி/செக}^2.$$

$t_1$ செகண்டுகளிலே A-யின் கதி $v_1 = \frac{gt_1}{2}$ அடி/செக.

$t_2$ செகண்டுகளிலே B-யின் கதி $v = \frac{gt_2}{8}$ அடி/செக

இப்போது A-யின் இயக்க ஆற்றல்

$$W = \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{10}{2}\left(\frac{gt_1}{2}\right)^2$$

இப்போது B-யின் இயக்க ஆற்றல்

$$W = \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{40}{2}\left(\frac{gt_2}{8}\right)^2$$

கணக்கின்படி இவை சமமாயிருக்க வேண்டுமாதலால்

$$\frac{10}{2}\left(\frac{gt_1}{2}\right)^2 = \frac{40}{2}\left(\frac{gt_2}{8}\right)^2$$

அல்லது $\frac{10g^2t_1^2}{2\times 4} = \frac{40g^2t_2^2}{2\times 64}$

அல்லது $\frac{t_1^2}{t_2^2} = \frac{4}{16} = \frac{1}{4}$

அல்லது $\frac{t_1}{t_2} = \frac{1}{2}$.

உதாரணம் 3 :—10 பவு. நிறை கொண்டதொரு கல் 160 அடி/செக. என்னும் கதியோடு மேனோக்கி வீசப்பட்டது. அது புறப்படும்போதும், உச்ச நிலையை அடைந்தபோதும், பாதி உயரத்திலே நின்றபோதும், அதன் நிலைப்பு ஆற்றல் யாதாக இருக்குமென்று காண்க.

கல்லின் துவக்க கதி $u = 160$ அடி/செக.

அதன் அருக்கம் $= g$ அடி/செக$^2$.

அது கிளம்பக்கூடிய தூரம் S என்று கொண்டால்

$$2gS = u^2$$

அதாவது $2\times 32\times S = (160)^2$

அல்லது $S = \frac{160\times 160}{2\times 32} = 400$ அடி.

அக்கல்லின் நிறை $m = 10$ பவு.

தரைக்குமேலே அதன் உயரம் $h$ ஆனல் அதன் நிலைப்பு ஆற்றல் $mgh$ ஆகும்.

எனவே அது இயங்கத் தொடங்கியபோது $h=0$.

ஆகையால் அப்போது அதன் நிலைப்பு ஆற்றல் $=0$.

உச்ச நிலையில் $h=400$.

அங்கே அதன் நிலைப்பு ஆற்றல் $=10 \times 400g$

$=10 \times 400 \times 32=$ **128000** அடிப்பவுண்டல்.

பாதி உயரத்திலே $h=200$;

அங்கே அதன் நிலைப்பு ஆற்றல்

$=10 \times 200 \times g=10 \times 200 \times 32$

$=$ **64000** அடிப்பவுண்டல்.

உதாரணம் 4. ஒரு வண்டித்தொடரின் நிறை 100 டன். இது சமதளமான பாதையிலே மணிக்கு 30 மைல் வீதம் ஓடிக்கொண்டிருக்கிறது. காற்று உராய்வு முதலியவற்றின் சிக்கல் டன்னுக்கு 40 பவு. இவற்றைக் கொண்டு என்ஜினுடைய குதிரை விசையைக் கணக்கிடுக.

வண்டித்தொடரின் நிறை $=100$ டன்.

அதன் மொத்த சிக்கல் $\mathrm{F}=100 \times 40=4000$ பவு. சக்தி.

வண்டித்தொடரின் கதி $=30$ மைல்/மணி.

அதாவது $\frac{30 \times 22}{15}=44$ அடி/செக.

F என்னும் சிக்கலை மீறி செகண்டுக்கு 44 அடி வீதம் முன்னேறுகிறது. எனவே என்ஜின் ஒரு செகண்டிலே செய்யும் வேலை $=4000 \times 44$ அடிப்பவுண்டு.

ஆகையால் என்ஜினின் குதிரைவிசை

$=\frac{4000 \times 44}{550}=$ **320**.

உதாரணம் 5 :—ஒரு மோட்டார் வண்டியின் நிறை 3000 பவு. இது சமதரையிலே மணிக்கு 20 மைல் வீதம் ஓடிக்கொண்டிருக்கிறது. இதே கதியோடு இந்த வண்டி 12-ல் 1 உயரும் சரிவிலே ஏறவேண்டுமானால் எவ்வளவு குதிரைவிசை அதிகரிக்கவேண்டும்.

மோட்டார்வண்டி சமதரையில் செல்லும்போது தனது கதிக்காக வேண்டிய வேலைமட்டும் செய்கிறது. சரிவிலே ஏறும்போது அது மேலெழுவதற்கான வேலையையும் உடன் கூட்டிச் செய்ய வேண்டியிருக்கிறது.

கணக்கின்படி ஒவ்வொரு 12 அடி தூரத்திலும் வண்டி 1 அடி மேலெழுகிறது.

ஒரு மணியிலே வண்டி செல்லும் தூரம் 20 மைல். எனவே ஒரு செகண்டிலே அது $\frac{20 \times 22}{15} = \frac{88}{3}$ அடி செல்லுகிறது. இதற்குள்ளாக வண்டி மேலெழும் உயரம் $h = \frac{88}{3 \times 12}$ அடி.

வண்டியின் நிறை $m = 3000$ பவு.

எனவே $h$ உயரம் மேலெழுவதற்காக செய்யவேண்டிய வேலை $W = mgh$

$$= \frac{3000 \times 32 \times 88}{3 \times 12} \text{ அடிப்பவுண்டல்.}$$

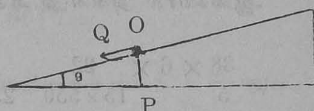
வண்டியின் அதிக விசை

$$= \frac{3000 \times 32 \times 88}{3 \times 12} \times \frac{1}{550} \times \frac{1}{32} \text{ குதிரைவிசை.}$$

$$= \mathbf{13\tfrac{1}{3}} \text{ குதிரைவிசை.}$$

உதாரணம் 6:—ஒரு மனிதன் 50-ல் 1 உயரும் சரிவிலே மணிக்கு 6 மைல் வீதம் சைக்கிளேறி சவாரி செய்

யக்கூடும். சிக்கலின் சக்தி 4 பவு. எடைக்குச் சம மென்று கொண்டு அவனுடைய குதிரை விசையைக் கணக்கிடுக. மனிதனும் சைக்கிளும் சேர்ந்து 180 பவு. நிறையாகும். அதே விசையோடு சம தரையில் சென்றால் அவனது கதி யாதாகும்?




இயங்கும் நிறை $m = 180$ பவு.

இதன் எடையாகிய $mg$, OP என்ற திசையிலே தொழிற்படுகிறது. (படம் 38).

படம் 38.

OQ என்ற திசையிலே இதன் பிரிநிலை

$mg \cos POQ = mg \sin \theta$ ஆகும்.

ஆனால் $\sin \theta = \frac{1}{50}$.

எனவே OQ (என்ற திசையிலே சக்தி)

$= \frac{180 \times 32 \times 1}{50}$ பவுண்டல் ஆகும்.

சிக்கலின் சக்தி 4 பவு. எடை $= 4 \times 32$ பவுண்டல்.

இதுவும் OQ என்ற திசையிலேயே தொழிற்படுகிறது.

எனவே சைக்கிள் முன்னேறுவதற்கு வேண்டிய

முழு சக்தி $F = \left( \frac{180 \times 32}{50} + 4 \times 32 \right)$ பவுண்டல்.

$= 7\frac{3}{5}$ பவுண்டு எடை.

சைக்கிளின் கதி 6 மைல்/மணி $= \frac{6 \times 22}{15}$ அடி/செக.

எனவே ஒரு செகண்டிலே $7\frac{3}{5}$ பவு. எடை சக்தியை எதிர்த்து அவன் $\frac{6 \times 22}{15}$ அடி தூரம் முன்னேறுகிறான்.

ஆகையால் அவனது விசை $\dfrac{7\frac{3}{5} \times \frac{6 \times 22}{15}}{550}$

$$= \frac{38}{5} \times 6 \times \frac{22}{15 \times 550} = \frac{76}{25 \times 25}$$

= 76/625 குதிரை விசையாகும்.

சம தரையில் சிக்கல் ஒன்றை மட்டுமே எதிர்த்துச் செல்லவேண்டும். அவன் அதிலே மணிக்கு $v$ மைல் சென்றான் என்று கொண்டால் அது செகண்டுக்கு $\frac{22 \times v}{15}$ அடியாகும்.

அவன் எதிர்க்கவேண்டிய சக்தி 4 பவு. எடை

எனவே அவனது குதிரை விசை $= \frac{4 \times 22 \times v}{15 \times 550}$

இது $\frac{76}{25 \times 25}$ என்று முன்பு கண்டோம்.

எனவே $\frac{4 \times 22 \times v}{15 \times 550} = \frac{76}{25 \times 25}$

அல்லது $v = \frac{76}{25 \times 25} \times \frac{550 \times 15}{4 \times 22} = \frac{114}{10}$

= **11·4** மைல்/மணி ஆகும்.

உதாரணம் 7. நிமிஷத்திற்கு 400 காலன் தண்ணீரை 60 அடி உயரத்திற்குத் தூக்கி இறைக்குமொரு இறைவியின் குதிரைவிசை யாதாகும்? (1 காலன் தண்ணீரின் நிறை 10 பவு.)

1 நிமிஷத்திலே இறைக்கப்படும் தண்ணீரின் அளவு = 400 காலன்.

$= 400 \times 10 = 4000$ பவு.

ஆகையால் 1 செகண்டிலே இறைக்கப்படும் தண்ணீரின் நிறை $m_1 = \frac{4000}{60} = 66\frac{2}{3}$ பவு.

இத் தண்ணீர் ஏற்றப்படும் உயரம் $h = 60$ அடி.

இதற்கு வேண்டிய ஆற்றல் $W = mgh$

$= 66\frac{2}{3} \times 60 \times g$

$= \frac{200 \times 60 \times g}{3} = 4000\ g$ அடிப்பவுண்டல்.

எனவே யந்திரத்தின் குதிரை விசை

$= \frac{4000\ g}{550\ g} = \mathbf{7\frac{3}{11}}$ குதிரை விசை.

உதாரணம் 8. 1100 அடி/செக. என்னும் கதியோடு செல்லுமொரு துப்பாக்கி ரவை, ஒரு பலகையைத் தொளைத்ததனால் 100 அடி/செக. குறைந்துவிட்டது. அந்த ரவை இதைப்போன்ற எத்தனை பலகைகளைத் தொடர்ந்து தொளைக்கக் கூடும்.

ரவையின் நிறை $m$ பவு. என்று கொள்வோம்.

அதன் துவக்க கதி $v_1 = 1100$ அடி/செக.

தொளைத்த பிறகு அதன் கதி $v_2 = 1000$ அடி/செக.

ஆகையால் அது இழந்த இயக்க ஆற்றல்

$= \frac{1}{2}\ m\ (v_1^2 - v_2^2)$

$= \frac{1}{2}\ m\ (1100 + 1000)\ \ (1100 - 1000)$

$= \frac{1}{2}\ m\ 210000$ அடிப்பவுண்டல்.

துவக்கத்திலே அதன் இயக்க ஆற்றல்

$= \frac{1}{2} mv_1^2 = \frac{1}{2} m. 1100^2$ அடிப்.பவுண்டல்.

அது $n$ பலகைகளைத் தொளைக்கக் கூடுமானால் அதன் துவக்க ஆற்றல்,

$n \times \frac{1}{2}m.210000$ அடிப்பவுண்டலாக இருக்கவேண்டும்.

$$\text{அல்லது } n = \frac{1100 \times 1100}{210000} = 5\frac{16}{21}$$

ஆகையால் அக்குண்டு 5 பலகைகளை மட்டுமே முற்றிலும் தொளைக்கக்கூடும்.

## வினாக்கள்

1. 'சக்தி', 'இயக்க ஆற்றல்' என்னும் பதங்களின் வரைவிலக்கணம் கூறுக. ஒரு பொருளின் மீது தொழிற்படும் சக்திக்கும் அதனாலேற்படும் இயக்க ஆற்றலுக்குமுள்ள தொடர்பு யாது?

ஒரு மனிதன் 80 அடி/செக. என்னும் கதியோடு வரும் $5\frac{1}{4}$ அவு. நிறையுள்ளதொரு கிரிக்கெட் பந்தைப் பிடிக்கும்போது, கையை 1 அடி பின் வாங்குகிறான். பந்து அவன் கைமீது தாக்கும் பொதுமைச் சக்தியைக் காண்க.

(சென்னை 1926 செப்).

2. 44 பவு நிறையுள்ளதொரு சைக்கிள் வண்டியிலே 8 குண்டு நிறையுள்ள ஒரு பையன் சவாரி செய்து கொண்டு, 21-க்கு 1 என்னும் சரிவிலே மணிக்கு 18 மைல்வீதம் மேலேறுகிறான். சிக்கல் 4 பவு. எடைக்குச் சமமென்று கொண்டு அவன் செகண்டுக்கு எவ்வளவு வேலை செய்கிறான் என்று கணக்கிடுக.

3. 150 டன் நிறை கொண்டதொரு வண்டித் தொடர் 120-ல் 1 என்னும் சரிவிலே மணிக்கு 30 மைல் கதியோடு ஏறுகிறது. சிக்கலின் அளவு டன்னுக்கு 5 பவு. (1) செகண்டுக்கு என்ஜின் எவ்வளவு வேலை செய்கிறது, (2) அதன் குதிரை விசை என்ன, என்பவற்றைக் கணக்கிடுக.

4. 'வேலை', 'ஆற்றல்', 'விசை', என்னும் பதங்களின் பொருளை விளக்குக.

13 குண்டு நிறையுள்ள ஒரு மனிதன் 30 அடி உயரமுள்ள மாடிப்படிகள் மீது 10 செகண்டுகளிலே

ஏறிச் செல்லுகிறான். அவன் செய்யும் வேலையின் வீதத்தை குதிரை விசையின் பகுதியாகக் கூறுக.

(ஆக்ஸ். 1932).

5. 'வேலை', 'குதிரை விசை' என்ற பதங்களுக்கு வரை விலக்கணம் கூறி, அவற்றின் அலகுகள் எவ்வாறு இணைந்திருக்கின்றனவென்று காட்டுக. ஒரு கிணற்றிலிருந்து சராசரி 21 அடி உயரத்திற்கு, நிமிஷத்திற்கு 600 காலன் வீதம் தண்ணீர் இறைப்பதற்கு வேண்டிய என்ஜினின் விசையைக் கணக்கிடுக. இதிலே 45% ஆற்றல் வீணாகி விடுகிறது.

(சென்னை 1919).

6. (a) 'ஜூல்', 'வாட்' என்பவற்றிற்கு வரை விலக்கணம் கூறுக.

(b) 200 டன் நிறைகொண்டதொரு வண்டித்தொடர் 100-க்கு 1 வீதம் உயரும் மலைச் சரிவிலே மணிக்கு 30 மைல் வீதம் ஏறுகிறது. அதன் குதிரை விசை காண்க.

(ரங்கூன் 1933).

7. 'விசை' என்பதற்கு வரை விலக்கணம் கூறுக. பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலும் மெட்ரிக் திட்டத்திலும் சாமானியமாய் கையாளப்படும் விசையலகுகள் யாவை.

20 அடி நீளமும் 16 அடி அகலமும் 4 அடி உயரமுமுள்ள தண்ணீர்த் தொட்டியை, 100 அடி கீழேயுள்ள கிணற்றுத் தண்ணீரைக்கொண்டு, 2 மணி நேரத்தில் நிரப்பிவிடக்கூடிய ஒரு இறைவியைத் தொழிற்படுத்துவதற்கு வேண்டிய என்ஜினின் விசை எவ்வளவு என்று கணக்கிடுக. என்ஜினின் விசையிலே 80% மட்டுமே நீர் இறைப்பதில் செலவழிகிறது.

(சென்னை 1929 மார்ச்.)

8. 'வேலை', 'விசை', 'குதிரை விசை', ஆகிய பதங்களின் வரைவிலக்கணங்களைக் கூறுக. ஒரு என்ஜின் 200 டன் நிறை கொண்டதொரு வண்டித் தொடரை சமதரையின்மீது மணிக்கு 25 மைல் வேகத்தோடு இழுத்துச் செல்லுகிறது. சிக்கல் ஒரு டன்னுக்கு 6 பவு. என்று கொண்டு என்ஜின் எத்தனை குதிரை விசை கொண்டதென்று கணக்கிடுக.

(அண்ணாமலை 1931).

9. ஒரு பொருளின் 'இயக்கவியல் ஆற்றல்' என்றுலென்ன ?

ஒரு நீர்வீழ்ச்சி 26 அடி உயரமுள்ளது. ஒவ்வொரு செகண்டிலும் 300 க. அடி தண்ணீர் விழுவதாகக் கணக்கிடப்பட்டது. இதனால் ஏற்படும் சக்தியில் 10% மட்டுமே கையாளக்கூடுமென்றால் இதில் வைக்கப்பட்டுள்ள பல் சக்கர உருளைகளின் குதிரை விசை எத்தனை யாகும் ?

(காசி 1933)

10. 'வேலை', 'ஆற்றல்', 'விசை' என்ற பதங்களுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு என்ஜின் தரை மட்டத்திற்கு மேலே 20 அடி உயரத்திற்கு 1000 காலன் தண்ணீரை 30 நிமிஷங்களிலே இறைத்துக் கொட்டுகிறது. கிணற்றிலே தண்ணீர் மட்டம் முதலில் 48 அடி ஆழத்திலும் இறுதியில் 60 அடி ஆழத்திலும் நின்றது. என்ஜின் செய்த வேலையையும் அதன் போதுமை விசையையும் கணக்கிடுக.

(அண்ணாமலை, 1935 மார்ச்).

11. துளங்கா நிலையிலிருந்து கீழ்நோக்கி விழும் பொருள்களிலே நேரம், கதி, வீழ்ச்சி இவற்றை இணைக்கும் சமீகரணங்கள் யாவை ?

இவ்வாறு விழும் ஒரு பொருளுக்கு முதல் நான்கு செகண்டுகளுக்குரிய ஒரு கால-தூர உருவகம் வரைக.

ஒரு பவு. நிறையுள்ள தொரு பொருள் கீழே விழும்போது, (a) 5 செகண்டுகளுக்குப் பின்னரும் (b) 50 அடி தூரம் வீழ்ந்த பின்னரும் அதன் இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

(ஆக்ஸ். 1930).

12. ஒரு காலன் தண்ணீரின் நிறை 10 பவு. இதைக்கொண்டு (1) 60 காலன் தண்ணீரை மெதுவாக 20 அடி உயரத்திற்கு ஏற்றவும், (2) இந்தத் தண்ணீரை 20 அடி உயரத்திற்குச் செல்லும்படியான கதியோடு தள்ளவும், (3) 20 அடி உயரத்திற்கு ஏற்றி செகண்டுக்கு 10 அடி கதியுடன் கிளம்புமாறு அதை இறைக்கவும் எவ்வளவு வேலை செய்யவேண்டியிருக்குமென்று காண்க.

13. 'இயக்க ஆற்றல்', 'நிலைப்பியல் ஆற்றல்', 'வேலை' என்னும் பதங்களுக்கு வரைவிலக்கணங்களைக் கூறுக. இந்த இராசிகள் ஒவ்வொன்றையும் அளப்பதற்குரிய அலகுகளைக் கூறுக.

8 அவு. நிறை கொண்டதொரு குண்டு 1000 அடி/செக. என்னும் கதியோடு சென்று ஒரு தகட்டைத் துளைத்துவிட்டு, 400 அடி/செக. என்னும் கதியோடு மேற்செல்லுகிறது. தகட்டின் கனம் பாதியாக இருந்திருந்தால் அது எந்த கதியோடு மேற்சென்றிருக்கும்? தகட்டைத் துளைப்பதில் செய்யும் வேலை தகட்டின் கனத்திற்கு ஏற்ப நேரானது என்று கொள்ளலாம்.

(சென்னை 1923 செப்.)

14. 'சக்தி', 'வேலை' என்னும் பதங்களுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. இவற்றை ஆய்வு-சாலையில் எவ்வாறு அளப்பது?

140 பவு நிறையுள்ள ஒரு மனிதன் 5 அடி உயர முள்ள ஒரு வேலியைத் தாண்டுகிறான். அவனுடைய கவர்ச்சி மையம் சாமானியமாய்த் தரைக்குமேலே 3 அடி உயரத்திலிருப்பதாகவும், தாண்டியபோது வேலிக்கு மேலே ஒரு அடி உயரத்தில் சென்றதாகவும் கொண்டால், அவன் செய்த வேலை எவ்வளவு ?

இந்த ஆற்றல் $(a)$ அவன் வேலியின்மீது தாண்டிச் சென்ற போதும், $(b)$ பிறகு தரையில் குதித்தபோதும் எந்த வடிவங்களிலிருந்தது. (ஆக்ஸ். 1927).

15. 200 பவு. நிறை கொண்டதொரு பந்து 80 அடி/செக. என்னும் கதியோடு சென்று நிலையான தொரு இருப்புத் தகட்டைத் துளைத்துவிட்டு, 30 அடி/செக. என்னும் கதியோடு மேலே செல்லுகிறது. தகட்டைத் துளைக்க அது செய்த வேலை எவ்வளவு ?

16. 5 பவு. நிறை கொண்டதொரு கல் மேனோக்கி 80 அடி/செக. என்னும் கதியோடு எறியப்பட்டது. அது புறப்படும்போதும், உச்ச நிலையை யடையும் போதும், பாதி உயரத்திலே இருந்தபோதும், மேலே கிளம்பிய பாதி நேரத்தின் போதும் அதன் இயக்க ஆற்றலைக் காண்க.

17. 8 அவு. நிறை கொண்டதொரு எஃகு ரவை, 6 அடி உயரத்திலிருந்து தரையிலே விழுந்து மீண்டு 5 அடி உயரத்திற்குக் கிளம்புகிறது. மோதினதால் அது எவ்வளவு இயக்க ஆற்றலை இழந்துவிட்டது.

18. ஒரு என்ஜின் 150 டன் நிறையுள்ள வண்டித் தொடரை 55-ல் 1 என்னும் சரிவிலே டன்னுக்கு 15 பவு. சிக்கலை எதிர்த்துச் சீராக மணிக்கு 15 மைல் கதியில் இழுத்துச் செல்லுகிறது. இதன் குதிரை விசையைக் கணக்கிடுக. (அண்ணாமலை 1933).

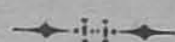
---

# பௌதிக நூல்

## இயந்திரவியல்

### இரண்டாம் பாகம்

## அத்தியாயம் 7



# நிலையியல் (STATICS)

### ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படும் சக்திகள்
### (Forces at a point)

ஒரு துகள் அல்லது பொருளின்மீது பல சக்திகள் தொழிற்படும்போது அத்துகள் அல்லது அப் பொருள் அசையாமல் இருந்தால், அச் சக்திகளின் உறவைப் பற்றி நிலையியலிலே விசாரிக்கிறோம். ஒரு பொருள் அசையாமல் இருக்கிறது என்று கூறும் போது அதில் இடப்பெயர்ச்சி இயக்கமோ அல்லது சுழற்சி இயக்கமோ ஏற்படவில்லையென்று நாம் கொள்கிறோம். ஒரு துகளின்மீது பல சக்திகள் தொழிற்படும்போது அச் சக்திகளின் தொழிற்படும் புள்ளிகள் ஒன்றாகும். ஆகையால் ஒரு துகளின்மீது தொழிற்படும் சக்திகள் என்று கூறும்போது, ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படும் சக்திகளையே நாம் கொள்கிறோம்.

ஒரு சக்தியை ஒரு நேர்கோட்டினால் வெகு எளிதாகக் குறிப்பிடலாம்; நேர் கோட்டின் ஒரு முனை தொழிற்படும் புள்ளியைக் காட்டும். கோட்டின் திசையே சக்தியின் தொழிற்படு திசையைக் காட்டும். கோட்டின் நீளத்திலுள் அடங்கிய நீள அலகுகளின் எண், சக்தியினுள் அடங்கிய சக்தி அலகுகளின் எண்ணைக் காட்டும். அதாவது கோட்டின் நீளம் சக்தியின் அளவுக்கு ஏற்ப நேராகவிருக்கும். நிலையியலிலே சக்திகள் எல்லாம் நிலக்கவர்ச்சி அலகுகளிலேயே அளவிடப்படும். ஆகையால் நாம் கிராம் எடையையும், பவுண்டு எடையையும் அலகுகளாகக் கொள்வோம்.

பயனிலை (Resultant) :— ஒரு நொடியிலே ஒரு பொருள் ஒரே திசையில் தான் இயங்கக் கூடும். அதன் மீது எத்தனை சக்திகள் தொழிற்பட்டாலும், அதன் இயக்கம் ஒரு நொடியில் ஒரு திசையில்தான் இருக்கும். இந்தப் பல வேறு சக்திகள் தொழிற்படுவதன் பயனாய் அப் பொருள் ஏதேனுமொரு திசையில் முடுக்கப் படுகிறது. இதே முடுக்கத்தை, அதே திசையில் தொழிற்படும் ஒரே ஒரு சக்தி, ஏற்படுத்தக்கூடும். இவ்வாறு பல வேறு சக்திகள் ஏக காலத்தில் தொழிற்படுவதால் உண்டாகும் பயனைத் தான்மட்டும் தனியாகத் தொழிற்படுவதால் உண்டாக்கக்கூடிய ஒரு சக்தியை, அப் பல வேறு சக்திகளின் பயனிலை என்பார்கள். பல வேறு சக்திகள் ஒரு பயனிலையைக் கொண்டிருந்தால், அப் பல வேறு சக்திகளும் அவற்றின் பயனிலைச் சக்தியின் பிரிநிலைகள் எனப்படும்.

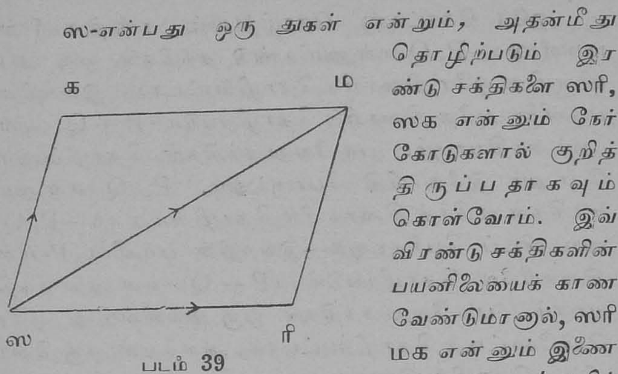
சம நிலை (Equilibrant) :—பல வேறு சக்திகள் ஏக காலத்தில் ஒரு துகளின்மீது தொழிற்படுவதால் உண்டாகும் பயனையே அவற்றின் பயனிலையாகிய ஒரே சக்தி உண்டாக்கக் கூடுமென்று முன்பு கூறினோம். இப்போது அதே துகளின்மீது பல வேறு சக்திகள் தொழிற்படும்போது, அவற்றின் பயனிலைக்குச் சமமாய், ஆனால் எதிராய் உள்ள ஒரு சக்தியையும் உடன் தொழிற்படச் செய்தால், இப் புது சக்தி முன்னைய சக்திகளின் கூட்டுப் பயனை அழித்துவிடும். எனவே அத் துகள் துளங்காது நிற்கும். முற்கூறிய பலவேறு சக்திகளும் இப் புது சக்தியும் சேர்ந்து துகளைச் சம நிலைமையில் நிறுத்தும். இவ்வாறு கூட்டப்பட்ட சக்தியே முன்னால் கூறிய பலவேறு சக்திகளின் சம நிலை எனப்படும். ஆகையால் பல வேறு சக்திகளின் சமநிலை என்பது, அவற்றின் பயனிலைக்குச் சமமான, ஆனால் எதிரானதொரு சக்தி என்று கூறப்படும்.

ஒரே கோட்டில் தொழிற்படும் சக்திகளின் பயனிலை:—P, Q என்னுமிரண்டு சக்திகள் ஒரு துகளின்மீது ஒரே திசையில் தொழிற்பட்டால், இவற்றின் பயனிலை அதே திசையில் தொழிற்படும் (P + Q) என்னும் சக்தியாகும். பலவேறு சக்திகள் தொழிற்படும் போதும் இதே விதி பொருந்தும். P, Q என்னும் சக்திகள் எதிர்த் திசைகளில் தொழிற்பட்டால்—P, Q-யை விடப் பெரிதானால்—இவற்றின் பயனிலை P-யின் திசையிலே தொழிற்படும் (P − Q) என்னும் சக்தியாகும். பலவேறு சக்திகள் ஒரு துகளின்மீது ஒரே நேர்கோட்டில் தொழிற்பட்டால், அவற்றுள் ஒரு திசையில் தொழிற்படுவனவற்றை மிகைக் குறியுடனும், எதிர்த் திசையில் தொழிற்படுவனவற்றை குறைக் குறியுடனும் கொள்ளலாம். இப்போது இப் பலவேறு சக்திகளின் பயனிலை அவற்றின் குறியியல் கூட்டுத் தொகையே யாகும். உதாரணமாக P, Q, R, S, T, U என்னும் சக்திகள் ஒரே துகளின்மீது ஒரே நேர்கோட்டிலே தொழிற்படுகையில், P, R, T, U என்பன ஒரு திசையிலும், Q, S எதிர்த் திசையிலும் இருந்தால், அவற்றின் பயனிலை (P−Q+R−S+T+U) என்று கூறலாம்.

P, Q என்னும் சக்திகள் ஒரே நேர்கோட்டில் இராமல், ஒன்றுக்கொன்று சாய்ந்திருந்தால், அவற்றின் பயனிலையை இணைகர விதியால் காணலாம்.

சக்தி இணைகரம் (Parallelogram of forces):—ஒரே புள்ளியில் தொழிற்படும் இரண்டு சக்திகளை, அளவிலும் திசையிலும் ஒரு இணைகரத்தின் இரண்டு அண்டைச் சிறைகள் குறிக்குமானால், அப் புள்ளி வழியே செல்லும் அவ் விணைகரத்தின் மூலைவரை, அவ்விரண்டு சக்திகளின் பயனிலையை அளவிலும் திசையிலும் குறிப்பிடும். (படம் 39).

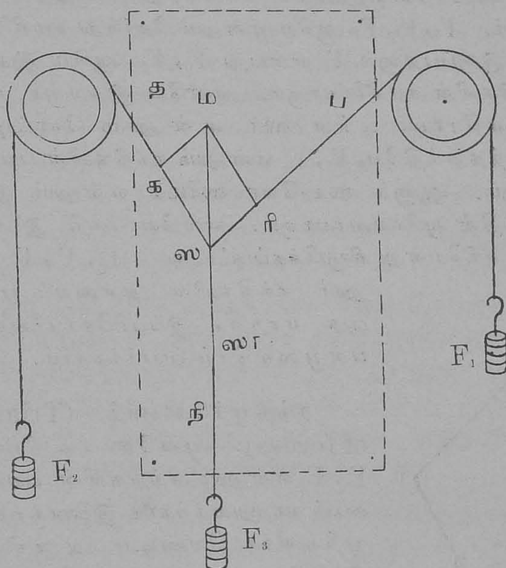
ஸ-என்பது ஒரு துகள் என்றும், அதன்மீது தொழிற்படும் இரண்டு சக்திகளை ஸரி, ஸக என்னும் நேர் கோடுகளால் குறித்திருப்பதாகவும் கொள்வோம். இவ்விரண்டு சக்திகளின் பயனிலையைக் காணவேண்டுமானல், ஸரி மக என்னும் இணைகரத்தை முற்றுவிக்கவும். ஸம-வைச் சேர்க்கவும். இதுவே அளவிலும் திசையிலும் பயனிலைச் சக்தியைக் குறிக்கும்.



படம் 39

பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்:— ஒரு படப் பலகையின் (Drawing Board) மீது ஒரு வெள்ளைத் தாளைப் பரப்பித்தைத்து, அந்தப் பலகையைச் செங்குத்தாக நிறுத்தவும். இதற்கு முன்புறத்தில், மேலே இரண்டு கனமில்லாத நயமான சகடைகளை ஒரே தளத்திலிருக்கும்படித் தொங்கவிடவும். (படம் 40). மூன்று சரடுகளின் முனைகளை ஒன்ருகச் சேர்த்து முடியிட்ட இடத்தை ஸ என்று கொள்ளவும். இவற்றில் இரண்டு சரடுகளை இரண்டு சகடைகளின் மேலாகச் சுற்றிக் கொண்டுவந்து, அவற்றின் முனையில் $F_1$, $F_2$ என்னுமிரண்டு எடைகளைத் தொங்கவிட்டு, மூன்ருவது சரட்டின் நுனியில் $F_3$ என்னும் எடையைத் தொங்கவிடவும். ஸ என்னும் முடிச்சு அசையாது ஓரிடத்தில் நிற்கும்படி $F_1$, $F_2$, $F_3$ என்னும் எடைகளைச் சரிப்படுத்திவைக்கவும். இச்சரடுகள் படப் பலகையை ஒட்டிநிற்கவேண்டும். ஆனல் சரடுகளாவது அவற்றில் கட்டிய எடைகளாவது வேருெரு பொருளையும் தொட்டுக்கொண்டி

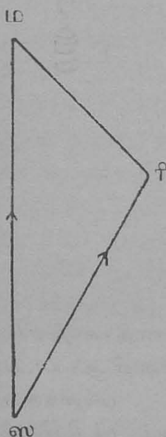
ருக்கலாகாது. இப்போது ஸ என்னும் புள்ளி ஸப, ஸத, ஸநி என்னும் திசைகளில் முறையே $F_1$, $F_2$, $F_3$ என்னும் சக்திகளால் இழுக்கப்பட்டு சமநிலைமையில் நிற்கிறது. இதைச் சிறிது அசைத்துவிட்டு அது மறுபடியும் தன்னிடத்திற்கே திரும்பி வருகிறதா என்று




படம் 40

பார்க்கவும். ஸ-வின் இடத்தையும் ஸப, ஸத, ஸநி என்னும் திசைகளையும் கூரிய பென்ஸில் முனையினால் படப் பலகையின்மீது குறித்துக்கொள்ளவும். பலகையை எடுத்து, அதன்மீது $F_1$, $F_2$, $F_3$ என்னும் சக்திகளைக் குறிக்க, ஒரு செளகரியமான பரிமாணத்திலே ஸரீ, ஸக, ஸஸா என்னும் கோடுகளை படப்பலகையின்மீது வரைந்துகொள்ளவும். ஸரீமக் என்னும் இணை

கரத்தை முற்றுவித்து, அதன் ஸம என்னும் மூலை வரையைக் குறிக்கவும். இப்போது ஸம-வின் நீளத்தையும், அது ஸஸா-வோடு செய்யும் கோணத்தையும் அளவிடவும். இதிலிருந்து ஸம என்பது ஸஸா-வுக்குச் சமமாய் இருக்கிறது என்றும், அதனோடு 180° கொண்ட கோணத்தைச் செய்கிறது என்றும் தெரிய வரும். $F_1$, $F_2$, $F_3$ ஆகிய மூன்றும் சேர்ந்து சமநிலைமையில் இருப்பதனால், $F_3$ என்பது $F_1$, $F_2$ ஆகிய இரண்டு சக்திகளின் சமநிலையாகும். எனவே இதற்குச் சமமாயும் எதிராயும் உள்ள ஸம என்னும் கோட்டினால் குறித்த சக்தியே, $F_1$, $F_2$ என்னும் சக்திகளின் பயனிலையாகும். ஆனால் ஸம-வோ ஸரிமக என்னும் இணைகரத்தின் மூலைவரையாகும். எனவே சக்தி இணைகர விதி சரியென்று நிரூபிக்கப்பட்டது. $F_1$, $F_2$, $F_3$ என்னும் சக்திகளின் அளவைப் பலவாறாக மாற்றி, இப்பரிசோதனையைப் பன்முறை செய்துபார்க்கலாம்.



படம் 41

சக்தி முக்கோணம் (Triangle of forces):—முன்னே கூறியவாறு $F_1$, $F_2$ என்னும் சக்திகளின் பயனிலையைக் காணுவதற்காக இணைகரத்தை முற்றுவிக்க வேண்டிய அவசியம் இல்லை. ஸப என்னும் கோட்டிலே $F_1$-ஐக் குறிப்பிடுவதற்காக ஸரி என்னும் பகுதியை எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 41). ரி-யிலிருந்து ஸத-வுக்கு இணையாக $F_2$-ஐக் குறிக்கும்படியாக ரிம என்னும் நேர்கோட்டை வரையவும். ஸ, ம-க்களைச் சேர்க்க வரும் ஸம என்னும் நேர்கோடே நாம் முன்பு வரைந்த இணைகரத்தின் மூலை வரையாகும்.

நாம் இப்போது இணைகரத்தின் ஒரு பாதியையே வரைந்திருக்கிறோம். நிற்க, $F_1$, $F_2$ என்பவற்றின் பயனிலையை ஸம குறிக்கும். எனவே இவ்வாறாக நாம் வேண்டிய பயனிலையை ஒரு முக்கோணத்தின் மூலமாகவே கண்டுவிடலாம். நிற்க, ஸம-வானது பயனிலையைக் குறிக்குமாதலால், மஸ என்பது இதற்கு சமமாயும் எதிராயும் உள்ள சமநிலையைக் குறிக்கும் என்று கூறலாம். ஆகையால் மஸ என்பது $F_3$ என்னும் சக்தியைக் குறிக்கும். இப்போது ஸ என்னும் புள்ளியில் ஏக காலத்தில் தொழிற்பட்டு அதைச் சமநிலையில் நிறுத்துகிற $F_1$, $F_2$, $F_3$ என்னும் மூன்று சக்திகளையும் முறையே ஸரி, ரிம, மஸ என்னும் முக்கோணச் சிறைகள் குறிக்கின்றன. இதுவே சக்தி முக்கோணம் என்னும் விதியாகும். அதை எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு :—

ஒரு துகளின்மீது ஏக காலத்தில் தொழிற்படும் மூன்று சக்திகளை, அளவிலும் திசையிலும் ஒரு முக்கோணத்தின் மூன்று சிறைகளால் "ஒரேமுகச் சுழற்சி முறையிலே" (in the same cyclic order) குறிக்கக் கூடுமானல், அத்துகளும் அதன்மீது தொழிற்படும் சக்திகளும் சமநிலைமையில் நிற்கும்.

இச்சக்தி முக்கோண விதியின் தலைமாற்றுரையும் (converse) உண்மையேயாகும். இத்தலைமாற்று விதியை எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு :—

ஒரு துகளின்மீது ஏககாலத்தில் தொழிற்படும் மூன்று சக்திகள் அத்துகளைச் சமநிலையில் நிறுத்தி வைத்திருந்தால், அம்மூன்று சக்திகளையும் அளவிலும் திசையிலும் ஒரு முக்கோணத்தின் மூன்று சிறைகளால் ஒருமுகச் சுழற்சி முறையிலே குறிக்கக்கூடும்.

இந்த விதியும் மிகவும் முக்கியமானதாகும். இதன்படி $F_1$, $F_2$, $F_3$ என்னும் மூன்று சக்திகள் ஒரு துகளை

சமநிலையில் நிறுத்தும்போது, $F_1$, $F_2$, $F_3$ என்னும் இச்சக்திகளுக்கு இணையான சிறைகளையுடைய ஸரிம என்னும் முக்கோணமொன்றை வரைந்தால்,

$$\frac{F_1}{\text{ஸரி}} = \frac{F_2}{\text{ரிம}} = \frac{F_3}{\text{மஸ}}$$

என்னும் உறவு கிடைக்கும்.

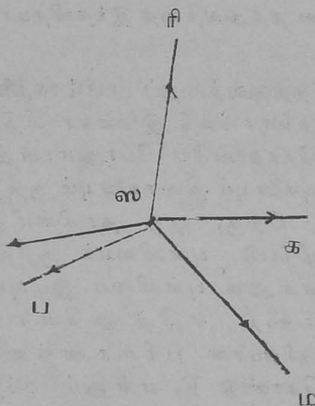
சக்திப் பலகோண விதி (Polygon of forces):- மேலேகண்ட தத்துவத்தை நாம் இன்னும் விரிவாகச் செய்து மூன்று சக்திகளையன்றி, பல சக்திகள் ஏக காலத்தில் தொழிற்படும் ஒரு துகளின் சமநிலைமையும் இதனுட்படுத்தலாம். சக்திப் பலகோண தத்துவம் எனப்படும் இவ்விரிவான தத்துவத்தை எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு:—

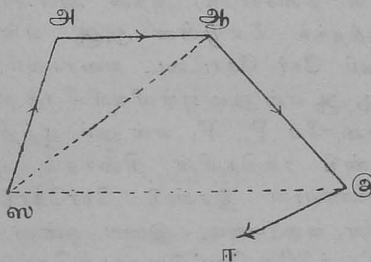
“பல சக்திகள் ஏக காலத்தில் ஒரு துகளின் மீது தொழிற்படும்போது, இத்துகள் சமநிலைமையில் இருந்தால், அச்சக்திகளை (ஒருமுகச் சுழற்சி முறையிலே) ஒரு முடிந்த பலகோணத்தின் சிறைகளால் அளவிலும் திசையிலும் குறிப்பிடலாம்.

இதைச் சக்தி முக்கோணத் தத்துவத்தால் நிரூபிக்கலாம்.

படத்தில் கண்டபடி (படம் 42) ஸ என்னும் துகளின்மீது பல சக்திகள் தொழிற்படுவதாகக் கொள்வோம். ஸரி, ஸக என்னும் சக்திகளை அவற்றின் பயனிலையுடன் குறிப்பிடும் ஸஅஆ என்னும் முக்கோணத்தை வரையவும். ஸஆ என்னும் கோட்டின்மீது ஸ ஆ இ என்னும் மற்றொரு முக்கோணத்தை வரையவும். இதில் ஆஇ என்பது ஸம என்னும் சக்தியைக் குறிப்பதாய் இருக்கவேண்டும். இதில் ஸஇ என்பது ஸஆ, ஸம என்னுமிரண்டு சக்திகளின் பயனிலையைக்

குறிக்கும். எனவே அது ஸரி, ஸக, ஸம என்னும் மூன்று சக்திகளின் பயனிலையாகும். இதில் ஸஆ என்னும் கோடு அவசியமே இல்லை. ஏனென்றால் ஸஅ, அஆ, ஆஇ என்னும் கோடுகளை முறைப்படி வரைந்தே ஸஇ-யைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இ-யின் நுனியிலிருந்து ஸப என்னும் சக்தியைக் குறிக்கும் இஈ என்னும் கோட்டை வரைந்தால், ஸஈ என்பது இந்நான்கு சக்திகளின் பயனிலையாகும். இவ்வாறே எத்தனை சக்திகளாயினும் ஒரே புள்ளியில் ஒரே காலத்தில் தொழிற்பட்டால், அவற்றை முறையே ஒரு பலகோணத்தின் சிறைகளால் குறித்து, அவற்றின் பயனிலையைக் காணலாகும். இவ்வாறு வரையும்போது ஒவ்வொரு சக்தியைக் குறிக்கும் கோட்டையும், அதற்கு முன்னைய சக்திக் கோட்டின் முனையிலிருந்து துவக்கி வரையவேண்டும். துவக்கப் புள்ளியிலிருந்து கடைசிக் கோட்டின் கடைசி முனையை நோக்கிச் செல்லும் கோடே, இச்சக்திகளின் பயனிலையைக் குறிக்கும்.

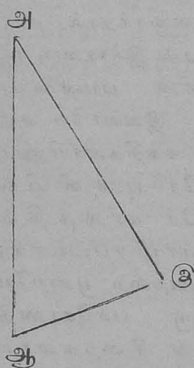



படம் 42

அதே கோடு எதிர்த்திசையிலே இச்சக்திகளின் சமநிலையைக் குறிக்கும். எனவே சக்திகளை இவ்வாறு குறிக்கும்போது பலகோணம் கடைசியில் முடிவடைந்துவிட்டால் இச்சக்திகள் தொழிற்படும் துகள் சமநிலைமையில் நிற்கும். சக்திப் பலகோண தத்துவத்தை இந்தவிதமாகவும் எடுத்துரைக்கலாம்.

சக்தி முக்கோண தத்துவத்தைப் பரிசோதனையால் சரி பார்த்தல்:—இதற்குச் சக்தி இணைகர விதிக்காகச் செய்யப்பட்ட பரிசோதனையே போதுமானது. அதிலே சக்திகளின் அளவுகளையும் திசைகளையும் குறித்தான பிறகு, ஒரு தாளின்மீது தொழிற்படு புள்ளியைக் குறிக்க அ என்னும் புள்ளியை இடவும். (படம் 43). ஏதேனுமொரு சௌகரியமான பரிமாணத்தை மேற்கொண்டு $F_3$ என்னும் சக்தியின் திசையிலே, அதன் அளவுக்குத்தக்க நீளமுள்ள அஆ என்னும் நேர் கோட்டை வரையவும். அ, ஆ என்னும் புள்ளிகளிலிருந்து முறையே $F_2$, $F_1$ என்னும் மற்றிரண்டு சக்திகளின் திசைகளுக்கு இணையான இரண்டு நேர்கோடுகளை வரையவும். இவை ஒன்றையொன்று இ என்னுமிடத்திலே வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். ஆஇ, இஅ என்னும் சிறைகளை அளந்து அவை பரிமாணப்படி முறையே $F_1$, $F_2$ என்னும் சக்திகளைக் குறிக்கின்றன என்பதைக் காணலாம். எனவே சக்தி முக்கோணத் தத்துவம் சரிபார்க்கப்பட்டது.



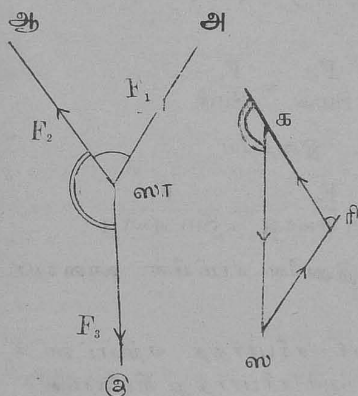
படம் 43

லாமியின் ஊகை (Lami's Theorem):—ஒரே துகளின் மீது ஏக காலத்தில் தொழிற்பட்டு அதைச்

சம நிலைமையில் நிறுத்தும் மூன்று சக்திகளினிடையே ஏற்படும் தொடர்பை, வேறொரு விதமாய் லாமியின் ஊகை எடுத்துரைக்கிறது.

அது வருமாறு :—

ஒரேதுகளின் மீது ஏககாலத்தில் தொழிற்படும் மூன்று சக்திகள் சமநிலைமையில் இருந்தால், அவற்றில் ஒவ்வொரு சக்தியும் மற்ற இரண்டு சக்திகளிடைப் பட்ட கோணத்தின் ஸயினு (Sine)க்கு ஏற்பவுள்ளது.



படம் 44

இந்த விதியை நாம் முன்னே கண்ட சக்தி முக்கோண விதியினின்றே வடித்துவிடலாம். இத்தகைய $F_1$, $F_2$, $F_3$ என்னும் மூன்று சக்திகளையும் முறையே ஸரிக என்னும் முக்கோணத்தால் குறிப்பிடுவோம். (படம் 44).

சக்தி முக்கோண விதிப்படி இவ்வாறு செய்தல் சாத்தியமாகும்.

நிற்க, இந்த மூன்று சக்திகளுக்கும் இடைப்பட்டனவாகிய ஆஸாஆ, ஆஸாஇ, இஸாஅ என்னும் மூன்றுகோணங்களும் முறையே ஸரிக என்ற முக்கோணத்தில் ரி, க, ஸ என்னும் மூலைக் கோணங்களின் படுகை நிரப்புக் கோணங்களுக்குச் (Supplementary angles) சமமென்று நாம் முக்கோணம் வரைந்த முறையை நோக்க விளங்கும். முக்கோணவியலின்படி

இந்தக் கோணங்களின் ஸயின் (Sine) களும் முறையே அவற்றின் படுகை நிரப்புக் கோணங்களின் ஸயின் களும் சமமாகும். எனவே Sinஅஸாஆ = Sinரி; Sinஆஸாஇ = Sinக; Sinஇஸாஅ = Sinஸ ஆகும். முக்கோணவியலின் மற்றொரு விதி

$$\frac{ஸரி}{Sinக} = \frac{ரிக}{Sinஸ} = \frac{கஸ}{Sinரி}$$

என்று கூறுகிறது. ஸரி, ரிக, கஸ என்பன முறையே $F_1$, $F_2$, $F_3$ என்பவற்றிற்கு ஏற்பவுள்ளதாகையால் மேலேகண்ட உறவை

$$\frac{F_1}{Sinக} = \frac{F_2}{Sinஸ} = \frac{F_3}{Sinரி}$$

என்று மாற்றிக்கூறலாம். இதையே

$$\frac{F_1}{Sin\ ஆஸாஇ} = \frac{F_3}{Sin\ இஸாஅ} = \frac{F_3}{Sin\ அஸாஆ}$$

என்றும் மாற்றலாம். இதுவே லாமியின் ஊகையாகும்.

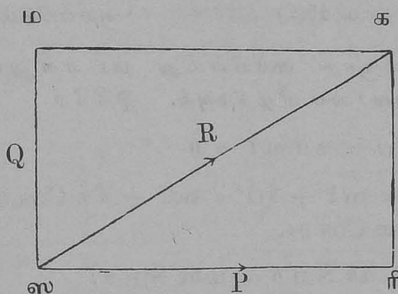
இணைகர விதியைச் சரிபார்த்த ஏற்பாட்டைக் கொண்டே இந்த விதியையும் சரிபார்த்து விடலாம்.

$F_1$, $F_2$, $F_3$ என்றும் மூன்று சக்திகளையும் அளந்து முறையே அவற்றிற்கு எதிரேயுள்ள கோணங்களையும் ஒருகோணமானியால் (Protractor) அளவிடவும். சக்திகளின் அளவுகளைப் பலவிதமாக மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் சக்திகளையும் அவற்றுக்கெதிரான கோணங்களையும் அளவிட்டு மேலே கண்ட உறவைச் சரி பார்க்கவும்.

சக்திகளைத் தொகுத்தலும் வகுத்தலும்:—ஒரே துகளின் மீது தொழிற்படும் பல சக்திகளின் அளவு

களும் திசைகளும் நமக்குத் தெரிந்தால் அவற்றின் பயனிலையைக் கண்டுவிடலாம். இரண்டு சக்திகள் மட்டுமே யிருந்தால் அவற்றைச் சிறைகளாகக் கொண்டு முற்றுவிக்கப்பட்ட இணைகரத்தின் மூலைவரையை நிர்ணயிக்க வேண்டும். இரண்டுக்கு மேற்பட்ட பல சக்திகள் தொழிற்பட்டால் இதேமுறையை மேற்கொண்டு அவற்றையும் உட்கொள்ளலாம்.

சேங்குறுக்கான இரண்டு சக்திகளின் பயனிலையைக் காண :—ஸரி, ஸம என்பன P, Q என்னு




படம் 45 (1)

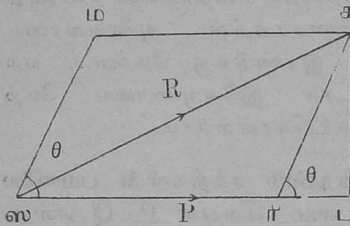
மிரண்டு சக்திகளைக் குறிப்பதாகவும், அவற்றிடைப் பட்ட ரிஸம என்பது ஒரு நேர்கோணமெனவும் கொள்வோம். (படம் 45 (1)). ஸரிகம என்னும் நேரகத்தை முற்றுவிக்கவும். பயனிலையாகிய R, ஸக என்னும் மூலைவரையால் குறிக்கப்படும். ஸரிக ஒரு நேர்கோணமாகையால்

$$ஸக^2 = ஸரி^2 + ரிக^2 = ஸரி^2 + ஸம^2$$

ஆகையால் $R^2 = P^2 + Q^2$ அல்லது $R = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

ஒன்றுக்கொன்று சாய்வான இரண்டு சக்திகளின் பயனிலையைக் காண :—ஸரி, ஸம என்பன ஒரே

துகளில் தொழிற்படும் P, Q என்னும் இரண்டு சக்திகளைக் குறிப்பதாகவும், அவற்றினிடைப்பட்ட கோணம் $\theta$ எனவும் கொள்வோம். (படம் 45 (2)) ஸரிகம என்னும் இணைகரத்தை முற்றுவிக்கவும். பயனிலையாகிய R என்னும் சக்தியை ஸக என்னும் மூலைவரை குறிப்பிடும்.




படம் 45(2)

க-விலிருந்து ஸரியின்மீது கப என்னும் செங்குறுக்கு வரையை வீழ்த்தவும். இதிலே

∠ கரிப = ∠மஸரி = $\theta$

ஸப = ஸரி + ரிப = ஸரி + ரிக Cos $\theta$ = ஸரி + ஸம Cos $\theta$;

கப = கரி Sin $\theta$ = மஸ Sin $\theta$;

ஆனால் ஸக$^2$ = ஸப$^2$ + பக$^2$

எனவே ஸக$^2$ = (ஸரி + ஸம Cos $\theta$)$^2$ + (மஸ Sin $\theta$)$^2$.

ஸக$^2$ = ஸரி$^2$ + ஸம$^2$ Cos$^2$ $\theta$ + 2. ஸரி. ஸம Cos $\theta$ + மஸ$^2$ Sin$^2$ $\theta$

= ஸரி$^2$ + ஸம$^2$ + 2. ஸரி.ஸம Cos $\theta$

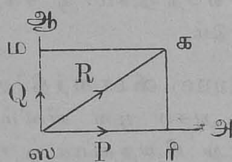
ஆகையால் $R^2 = P^2 + Q^2 + 2\,P.Q.\text{Cos}\,\theta$

அல்லது $R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2P.Q.\ \cos\,\theta}$

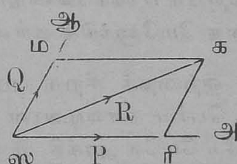
ஒன்றுக்கொன்று செங்குறுக்கான இரண்டு திசைகளிலே ஒரு சக்தியின் பிரிநிலைகளைக் காண:— ஸக

என்பது R என்னும் சக்தியைக் குறிப்பதாகவும், ஸஅ, ஸஆ என்னும் இரண்டு திசைகளிலே இச்சக்தியின் பிரிநிலைகளைக்காண வேண்டியிருப்பதாகவும், அஸஆ என்பது ஓர் நேர்கோணமெனவும் கொள்வோம். (படம் 46 (1)).

∠ ரிஸக = $\alpha$ என்று வைத்துக்கொள்வோம். க-விலிருந்து முறையே ஸஅ,ஸஆ என்னும் திசைகளுக்கு இணையாக கம, கரி என்னும் கோடுகளை வரையவும். இவை முறையே ஸஆ, ஸஅ என்னும் கோடுகளை ம, ரி என்னும் புள்ளிகளிலே குறுக்கிடுவதாகக் கொள்வோம். இதில் ஸரி, ஸம என்பன ஸகவின் P, Q, என்னும் பிரிநிலைகளாகும்.



படம் 46(1)



படம் 46 (2)

நிற்க ஸரி = ஸக Cos $\alpha$ ; ஸம = ஸகSin $\alpha$.

ஆகையால் R Cos $\alpha$, R Sin $\alpha$ என்பன இந்த சக்தியின் பிரிநிலைகளாகும்.

வடிவியல் கரணத்தால் ஒரு சக்தியின் பிரிநிலைகளை ஏதேனுமிரண்டு திசைகளிலே காண்க :—ஸக என்பது R என்னும் சக்தியைக் குறிப்பதாகவும் அதன் P, Q என்னும் பிரிநிலைகளை ஸஅ, ஸஆ என்னும் திசைகளிலே காணவேண்டியிருக்கிறதென்றும் கொள்வோம். (படம் 46 (2)). க-விலிருந்து கரி, கம என்னுமிரண்டு கோடுகளை முறையே ஸஆ, ஸஅ என்னும் திசை

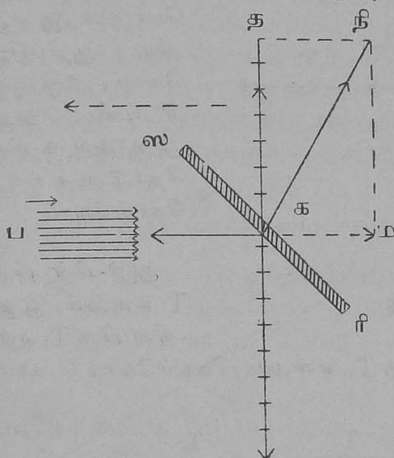
களுக்கு இணையாக இருக்கும்படி வரையவும். இவை முறையே ஸஅ, ஸஆ-என்னும் கோடுகளை ரீ, ம என்னும் இடங்களிலே குறுக்கிடுவதாகக் கொள்வோம். ஸரீகம என்பது ஓர் இணைகரமாகும். ஸக என்பது அதன் மூலைவரை. எனவே ஸரீ, ஸம என்னும் சக்திகளைக் கூட்ட ஸக என்னும் சக்தி கிடைக்கும். அல்லது ஸரீ, ஸம என்பன ஸக என்னும் கோட்டின் பிரிநிலைகளாகும். அதாவது ஸரீ, ஸம என்னும் கோடுகளில் குறிக்கப்பட்ட P, Q என்னும் சக்திகள் R என்னும் சக்தியின் பிரிநிலைகளாகும்.

ஆகாய விமானம் எவ்வாறு பறக்கிறது :—ஆகாய விமானம் காற்றை விடக் கனமானது. எனவே அது காற்றிலே பறக்கவேண்டுமானால் ஏதேனுமொரு சக்தி அதை மேனோக்கித் தள்ளவேண்டும்.

ஒற்றைச் சிறகு (mono plane) விமானத்திலே, ஒரு பெரிய தளவடிவான சிறகு, அதன் முன் விளிம்பு சற்றே மேலே தூக்கி இருக்குமாறு நிறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இரட்டை சிறகு விமானங்களிலே (Biplanes) இத்தகைய இரண்டு சிறகுகள் ஒன்றின் மேலொன்றாக இருக்கின்றன. பெரிய சக்தி வாய்ந்த காஸோலின் என்ஜின்கள் ஆகாய விமானத்தின் முன்புறமுள்ள முடுக்கு விசிறிகளைச் சுழற்றுகின்றன. இதனால் ஆகாயவிமானம் வெகு வேகமாக முன்னோக்கி இழுக்கப்படுகிறது. (படம் 47).

ஸரீ என்ற ஒரு சிறகு வேகமாக கப என்னும் திசையிலே செல்வதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறு சிறகு முன்னேறிச் செல்லும் போது, காற்று அதற்கு எதிர்ப்புறமாக படத்தில் கண்டவாறு வீசிச் செல்வதாகத் தோன்றும். சிறகு அசையாமல் நிற்க, காற்றுமட்டும் பக என்ற திசையிலே அதே வேகத்

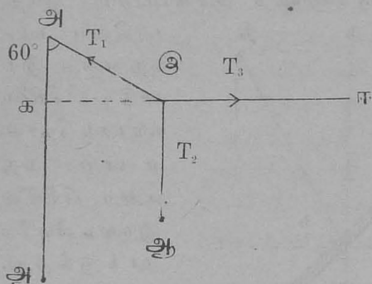
தோடு வீசுவதாகக் கொண்டாலும், நிலைமை மாறுத லடைவதில்லை. இதனால் ஸரி என்னும் சிறகு கநி-என்னும் திசையிலே பின்னேக்கித் தள்ளப்படும். இந்த சக்தியை கம, கத என்ற இரண்டு பிரிநிலைகளாகக் கொள்ளலாம். கத என்ற பிரிநிலை இறகை மேலே தாக்குகிறது. இறகின் நிறை கத என்னும் பிரிநிலைக்குச் சமமானல் சிறகு மேலும் கீழும் செல்லாமல் துலைப்பட்டு நிற்கும். சிறகின் நிறையைவிட கத என்னும் பிரிநிலை பெரிதானல் இச்சிறகு மேலே எழும்பும்; சிறியதானல் கீழிறங்கும். முடுக்கு விசிறிகளின் சக்தி கம என்னும் பிரிநிலையை விடப் பெரிதானல் ஆகாய விமானம் முன்னேறிச் செல்லும். காற்றைவிடக் கனமான ஆகாய விமானம் காற்றிலே பறப்பதற்கு இதுவே காரணம்.




படம் 47

உதாரணம் 1:—20 பவு. எடையுள்ளதொரு பொருள் ஒரு கயற்றினலே கட்டப்பட்டு அ என்ற ஆணியிலிருந்து தொங்குகிறது. இக்கயிற்றோடு இணைக்கப்பட்ட மற்றெரு கயிற்றைப் படுகைத்திசையிலே இழுக்க முதற் கயிற்றின் மேல் பகுதி நிமிர்வைக்கு 60° சாய்ந்து நிற்கிறது. இரண்டாவது கயிற்றின் பிகுவையும் ஆணியின் மீது தாக்கும் பிகுவையும் கணக்கிடுக.

படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 48). கயிறுகள் கூடுமிடத்தை இ என்றும், இரண்டாவது கயிற்றை இஈ என்றும், பொருளை ஆ என்றும் குறிப்பிடுவோம். ஈஇ-யை நீட்டிவிட அது அஆ-வை க-வில் தொடுவதாகக் கொள்வோம்.




படம் 48

அஇ-யின் பிகு $T_1$ என்றும், இஆ-வின் பிகு $T_2$ என்றும், இஈ-யின் பிகு $T_3$ என்றும் கொள்வோம். லாமியின் ஊகைப்படி

$$\frac{T_1}{\sin \text{ஆஇஈ}} = \frac{T_2}{\sin \text{அஇஈ}} = \frac{T_3}{\sin \text{அஇஆ}}.$$

ஆனால் $\angle$ ஆஇஈ $= 90^\circ$ ; எனவே Sin $\angle$ ஆஇஈ $= 1$.

Sin $\angle$ அஇஈ $=$ Sin $\angle$ அஇக $=$ Sin $(90-60)$

$= \text{Sin } 30 = \frac{1}{2}$.

$\angle$ அஇஆ $= 120^\circ$. ஆகையால் Sin $\angle$ அஇஆ

$= \text{Sin } 60 = \frac{\sqrt{3}}{2}$.

இவற்றை மேலே கண்ட சமீகரணத்தில் ஈடிடவே

$$\frac{T_1}{1} = \frac{T_2}{1/2} = \frac{T_3}{\frac{\sqrt{3}}{2}}.$$

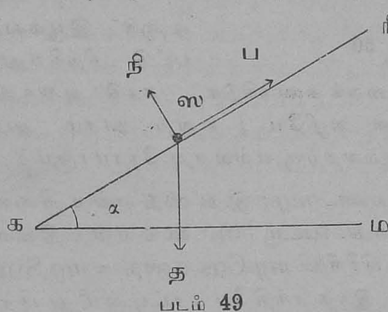
ஆனால் $T_2 = 10$ பவு. எடை.

எனவே அஇ-யின் பிகு $T_1 = \frac{10}{\frac{1}{2}} = 20$ பவு.

இஈ-யின் பிகு $T_3 = \frac{20\sqrt{3}}{2} = 17 \cdot 32$ பவு.

உதாரணம் 2:—படுகை மட்டத்திற்கு $30^\circ$ சாய்ந்திருக்குமொரு சாய்வு சாரத்தின் மீது 10 பவு. எடையுள்ளதொரு பொருள் சாரத்திற்கு இணையானதொரு சரட்டினாலே நிறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. சரட்டிலுள்ள பிகு எவ்வளவு?

படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 49). ஸ என்ற பொருள் மூன்று சக்திகளுக்குட்பட்டு சமநிலைமை அடைந்திருக்கிறது. அவையாவன. (1) ஸப என்ற சரட்டின் பிகு (2) ஸத என்ற எடை. (3) ஸநி என்ற சாரத்தின் எதிர்த்தொழில்.



படம் 49

எனவே லாமியின் விதிப்படி

$$\frac{ஸப}{\sin தஸநி} = \frac{ஸத}{\sin பஸநி} = \frac{ஸநி}{\sin தஸப}.$$

ஆனால் $\angle$ தஸநி $= (180^\circ - 30^\circ)$; ஆகையால் $\text{Sin}$ தஸநி $= \text{Sin } 30 = \frac{1}{2}$.

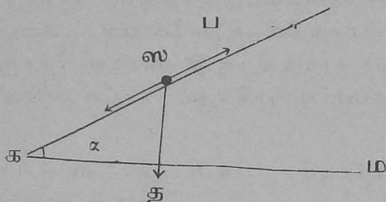
$\angle$ பஸநி $= 90$; ஆகையால் $\text{Sin}$ பஸநி $= \text{Sin} 90^\circ = 1$.

நிற்க ஸத $= 10$ பவு. எடை

எனவே ஸப $= \left( \frac{ஸத . \sin தஸநி}{Sin \ பஸநி} \right) = 10 \times \frac{1}{2} = 5$ பவு. எடை.

சரட்டிலுள்ள பிகு 5 பவு. எடையாகும்.

உதாரணம் 3:—படுகை மட்டத்திற்கு $\alpha$ என்ற கோணத்தினளவு சாய்ந்திருக்குமொரு சிக்கலில்லாத சாய்வு சாரத்திலே, $m$ எடை கொண்டதொரு பொருள் அச்சாரத்திற்கு இணையான திசையிலே நிற்குமொரு சரட்டினால் இழுக்கப்பட்டு நிற்கிறது.




படம் 50

சரட்டிலுள்ள பிகுவைக் கணக்கிடுக. சரடு அறுந்துவிட்டால் சாரத்தின் வழியே $l$ என்ற தூரம் அப்பொருள் நகர்ந்துசெல்வதற்கு எவ்வளவு நேரமாகும்?

அப்பொருளின்எடை $mg$; இது ஸத என்ற திசையிலே தொழிற்படுகிறது. (படம் 50). ஸக என்ற திசையில் இந்த சக்தியின் பிரிநிலை $mg$ Cos கஸத $= mg$ Sin ஸகம $= mg \operatorname{Sin}\alpha$. இந்த சக்தியே சரட்டின்மீது பிரயோகிக்கப்படுவதால் சரட்டின் பிகு $mg \operatorname{Sin}\alpha$.

∴ ஸக-என்ற திசையிலே பொருளின் முடுக்கம் $a = g \operatorname{Sin}\alpha$; கடந்து செல்லவேண்டிய தூரம் $l$.

இதற்கான நேரம் $t$ என்று கொண்டால்

$$l = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} g \operatorname{Sin}\alpha . t^2$$

அல்லது $t^2 = \dfrac{2\,l}{g \operatorname{Sin}\alpha}$

எனவே $t = \sqrt{\dfrac{2\,l}{g \operatorname{Sin}\alpha}}$

---

## வினக்கள்

1. ஒரு நேர் கோட்டினால் எவ்வாறு ஒரு சக்தியைக் குறிக்கலாம். 'சக்திகளின் இணைகரவிதி' என்று சொல்லப்படும் விதியைத் தெளிவாக எடுத்துக் கூறி, அதை எவ்வாறு பரிசோதனையால் சரிபார்க்கலாம் என்பதையும் விவரித்துக் கூறவும்.

(சென்னை மார்ச். 1923).

2. மூன்று வெவ்வேறு சரடுகள் ஒரு முடிச்சிலே சேருகின்றன. இரண்டு சரடுகளின் விடுபட்ட நுனிகள் செங்குத்தான சுவற்றிலே ஒரே நீளம் வெளியே தெரியும்படி அடித்துள்ள $N_1$, $N_2$ என்னுமிரண்டு ஆணிகளிலே தொடுக்கப்பட்டன. மூன்றாவது சரட்டிலே ஒரு எடைக்கல் சுவற்றைத் தீண்டாதவாறு தொங்குகிறது. ஆணிகளிலே கட்டியுள்ள சரடுகளின் பிகுக்களைக் கணக்கிடுவதற்காக உனக்கு வேண்டிய கருவிகளையும் அதன் செயல் முறையையும் கூறுக. திருஷ்டாந்தமாகச் சில வாசகங்களைக் கொடுக்கவும்.

(சென்னை 1925 செப்.)

3. ஒரு படகு ஒரு கால்வாயின் இரண்டு கரைகளிலுமிருந்து கட்டியுள்ள இரண்டு கயிறுகளால் இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது. ஒரு கயிறு வாய்க்காலின் திசைக்கு 60°-யும், மற்றொரு கயிறு 30°-யும் சாய்ந்து இருக்கின்றன. முதல் கயிற்றின் பிகு 200 பவு. எடையானால் இரண்டாவது கயிற்றின் பிகு யாதாகும்?

4. 80 அவு. நிறைகொண்டதொரு குண்டு 25 செ. மீ. நீளமுள்ள சரட்டிலே கட்டித் தொங்குகிறது. மற்றொரு சரடு இதைப் படுகை வாக்கிலே தன் னிலையிலிருந்து 30° விலகி நிற்கும்படி இழுக்கிறது. இச்சரடுகளின் பிகுக்களைக் காண்க.

5. ஒரு ஆணியிலே 10 அடி நீளமுள்ள தொரு கயிற்றைக்கட்டி அதன் முனையிலே 20 பவு. எடை யொன்று தொங்க விடப்பட்டது. இது தன்னிலையி லிருந்து 6 அடி படுகை வாக்கிலே நகரும் படியாக ஒரு கயிற்றால் இழுக்கப்பட்டது. இக்கயிற்றின் பிரு யாது? அதே இடத்தில் இக்கயிறு முன்னைய கயிற்றுக்கு லம்ப மாக நிற்கவேண்டுமானால் அதில் எவ்வளவு பிரு இருக்கவேண்டும்?

6. ஒரு துகள்மீது தொழிற்படும் மூன்று சக்தி கள் அதைச் சமநிலைமையில் நிறுத்துகின்றன. ஒவ்வொரு சக்தியும் மற்ற இரண்டு சக்திகளின் திசை களுக்கிடைப்பட்ட கோணத்தின் Sine-க்கு எற்ப உள் ளது என்று காட்டுக.

ஒரு விட்டத்தின் ஒரு முனையோடு ஒரு சரட்டின் A-என்ற முனை பிணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதன் B என்னும் மற்றொரு முனையில் 3 பவு. எடை கட்டித் தொங்குகிறது. இதன் மத்தியில் C என்ற புள்ளி யிலே மற்றொரு சரடு இணைக்கப்பட்டு அது இழுக்கப் படுகிறது. ACB என்ற கோணம் 120° என்று கொண்டு சரடுகளில் உள்ள பிருக்களைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை. டிச. 1921)

7. சக்தி முக்கோண விதியை எடுத்துக் கூறி அதைச் சரிபார்ப்பதற்குரியதொரு பரிசோதனையை விவரிக்கவும்.

500 பவு. எடை, 20 அடி நீளம் கொண்டதொரு கயிற்றின் நுனியிலே கட்டித் தொங்குகிறது. இதைப் படுகை வாக்கிலே ஒரு அடிதூரம் இழுக்கவேண்டு மானால் எவ்வளவு சக்தியைப் பிரயோகிக்க வேண்டு மென்று உருவக முறையில் கணக்கிடுக.

(சென்னை 1929 மார்ச்.)

8. ஒரே படுகை மட்டத்தில் உள்ள புள்ளிகளிலே கட்டப்பட்டுள்ள ஒரே நீளமுள்ள இரண்டு சரடுகளால் ஒரு எடைக்கல் தாங்கப்பட்டு தொங்குகிறது. சரடுகள் கட்டப்பட்டுள்ள புள்ளிகளின் இடைத் தூரத்தை அதிகரிப்பதால் சரடுகளின் பிருக்கள் அதிகரிக்குமா அல்லது குறையுமா? விளக்குக.

(சென்னை 1924 மார்ச்.)

---

# அத்தியாயம் 8



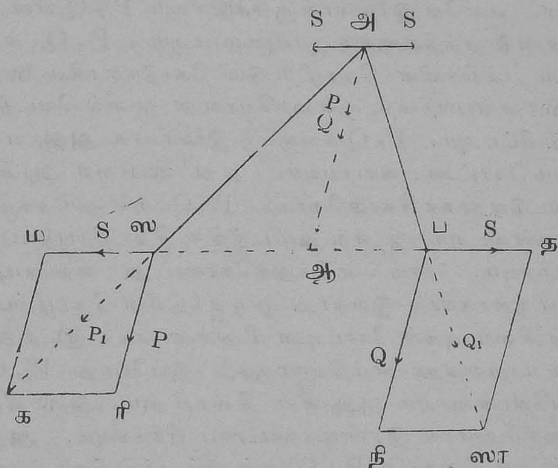
## இணைச் சக்திகள் (Parallel Forces)

இதுவரை துகளின் மீதோ அல்லது துகளைப் போலக் கருதப் படக்கூடிய பொருள்களின் மீதோ தொழிற்படும் சக்திகளைப் பற்றியே நாம் விசாரித்து வந்தோம். இனிப் பருமை கொண்ட பொருள்களின் மீது தொழிற்படும் சக்திகளைப் பற்றிச் சிறிது கூறுவோம். நாம் விறைப்புப் பொருள்களைப் (rigid bodies) பற்றியே பேசுவோம். தம்மீது சக்திகள் தொழிற்படும் போது நெகிழ்ந்து வடிவம் மாறாத பொருள்களே விறைப்புப் பொருள்கள் எனப்படும். பொதுவாக எல்லாக் கட்டிப் பொருள்களையும் நாம் விறைப்புப் பொருள்களாகக் கொள்ளலாம். இவ்விறைப்புப் பொருள்களின் மீது சக்தி தொழிற்படும் போது, அது தொழிற்படும் கோட்டின் மீதுள்ள எந்தப் புள்ளியையும், தொழிற்படு புள்ளியாகக் கொள்ளலாம் என்று பரிசோதனையால் நிறுவப்பட்டுள்ளது. தொழிற்படும் கோடுகள் இணையாகவுள்ள பல சக்திகள் ஒரு விறைப்புப் பொருளின் மீது பல விடங்களில் தொழிற்படுதலைப்பற்றியே இந்த அத்தியாயத்தில் நாம் விசாரிப்போம். இத்தகைய சக்திகளை இணைச்சக்திகள் என்பார்கள். மேலும் ஒரே தளத்தில் (same plane) தொழிற்படும் சக்திகளைப் பற்றி மட்டுமே நாம் விசாரிப்போம். இவை ஏகதள சக்திகள் அல்லது ஒரு தள சக்திகள் (Co-planar Forces) எனப்படும்.

ஒத்த சக்திகளும் எதிர்ச் சக்திகளும் (like and unlike forces):—ஒரே திசையை நோக்கி தொழிற்படும் இணைச் சக்திகள் ஒத்த சக்திகள் எனவும்,

எதிர்த் திசைகளை நோக்கித் தொழிற்படும் இணைச் சக்திகள் எதிர்ச் சக்திகள் எனவும் பெயர் பெறும்.

ஒரே விறைப்புப் பொருளின் மீது தொழிற்படும் இரண்டு இணைச் சக்திகளின் பயனிலை காண :— படம் 51).




படம் **51**

ஒத்த சக்திகள் :—P, Q என்னுமிரண்டு இணைச் சக்திகள் முறையே ஸ, ப என்னுமிடங்களில் ஸரி, பநி என்னும் திசைகளில் தொழிற்படுவதாகக் கொள்வோம். ஸ, ப என்னுமிடங்களிலே முறையே S, S என்னும் இரண்டு சமமான, ஆனால் எதிரான இரண்டு சக்திகளைச் சேர்த்துக்கொள்ளவும். இவை ஒன்றையொன்று அழித்து விடுவதால் P, Q என்னுமிரண்டு சக்திகளின் விளைவும் P, Q, S, S, என்னும் நான்கு சக்திகளின் விளைவும் ஒன்றே என்று கொள்ளலாம். P, S என்னும் சக்திகள் ஸ-விலும் Q, S என்னும் சக்திகள் ப-விலும் தொழிற்படுகின்றன. S, S என்னும் சக்திகளை ஸம,

பத என்னும் கோடுகளால் குறிப்பிடவும். ஸரிகம, பதஸாநி என்னும் இணைகரங்களை பூர்த்திவிக்கவும். P, S என்னும் சக்திகளின் பயனிலே $P_1$ என்பதை ஸக என்னும் மூலைவரை குறிக்கும். இவ்வாறே Q, S என்னும் சக்திகளின் $Q_1$ என்னும் பயனிலையை பஸா குறிக்கும். எனவே இந்த நான்கு சக்திகளும் $P_1$, $Q_1$ என்னுமிரண்டு சக்திகளுக்கு ஒப்புமையாகும். $P_1$, $Q_1$ என்னும் சக்திகளின் தொழிற்படும் கோடுகளாகிய ஸக, பஸா என்பவற்றை, ஒன்றையொன்று அ-வில் வெட்டும்படி நீட்டவும். P, Q-க்களுக்கு இணையாக அஆ என்னும் கோட்டை வரையவும். அது ஸப-வை ஆ-வில் வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். $P_1$, $Q_1$ என்னும் சக்திகளிரண்டையும் அ என்னுமிடத்தில் தொழிற்படும்படி மாற்றவும். நாம் எடுத்துக்கொண்டது விறைப்புப் பொருளாதலால் இவ்வாறு ஒரு சக்தியின் தொழிற்படு புள்ளியை அதன் கோட்டின் மீதுள்ள எந்த இடத்துக்கும் மாற்றுவது சாத்தியமாகும். இப்போது $P_1$, $Q_1$ ஒவ்வொன்றையும் அஆ-வின் திசையிலும், ஆஸ-வின் திசையிலுமாக இரண்டிரண்டாகப் பிரிக்கவும். அஆ என்னும் திசையில் (P+Q) என்னும் சக்தி கிடைக்கும். ஆஸ என்னும் திசையிலே S, S என்னும் சமமான, ஆனால் எதிரான இரண்டு சக்திகள் கிடைக்கும். இவற்றை நீக்கிவிட்டால், அஆ-என்னும் கோட்டில் தொழிற்படும் (P+Q) என்னும் சக்தியொன்றுமட்டுமே எஞ்சி நிற்கும். இதன் தொழிற்படு புள்ளியை ஆ-வுக்கு மாற்றவும். எனவே இப்போது P, Q என்னும் சக்திகளின் பயனிலையானது ஆ-வில் P, Q-க்களின் திசையிலே தொழிற்படுகின்ற (P+Q) என்னும் அளவுகொண்ட R என்னுமொரு சக்தியாகும்.

நாம் இப்போது ஆ-வின் நிலையை கணக்கிட்டறிய வேண்டும். அமைப்பு முறைப்படி ஸகம, ஸஅஆ

என்னும் முக்கோணங்கள் ஒத்தவடிவின (Similar) வாகும்.

$$\text{எனவே} \frac{\text{அஆ}}{\text{ஸஆ}} = \frac{\text{கம}}{\text{மல}} = \frac{P}{S}$$

அல்லது $P \times$ ஸஆ $= S \times$ அஆ ;

பதஸ.ா, பஅஆ என்னும் முக்கோணங்களும் ஒத்த வடிவினவாகும்.

$$\text{ஆகையால்} \frac{\text{அஆ}}{\text{பஆ}} = \frac{\text{தஸா}}{\text{தப}} = \frac{Q}{S}$$

அல்லது $Q \times$ பஆ $= S \times$ அஆ.

ஆகையால் $Q \times$ பஆ $= P \times$ ஸஆ.

$$\text{அல்லது} \frac{\text{ஸஆ}}{\text{பஆ}} = \frac{Q}{P}.$$

ஒவ்வொரு புறத்திலும் ஒன்றைச் சேர்க்கவும்.

$$\frac{\text{ஸஆ}}{\text{பஆ}} + 1 = \frac{Q}{P} + 1$$

$$\text{அல்லது} \frac{\text{ஸஆ} + \text{பஆ}}{\text{பஆ}} = \frac{P+Q}{P} = \frac{R}{P} \text{ ஆகும்.}$$

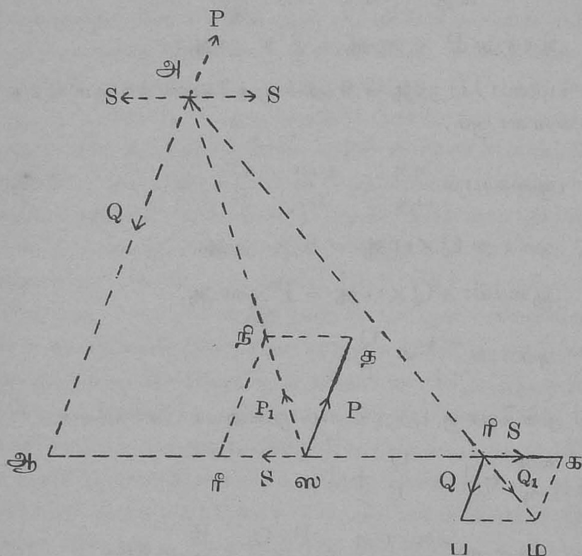
அல்லது $P \times$ ஸப $= R \times$ பஆ என்று கூறலாம்.

இவ்வாறே $Q \times$ ஸப $= R \times$ ஸஆ ஆகும்.

$$\text{இப்படியாக} \frac{P}{\text{பஆ}} = \frac{Q}{\text{ஸஆ}} = \frac{R}{\text{ஸப}}$$

எதிர்ச் சக்திகள் :—(படம் 52). P, Q என்னும் சக்திகள் ஸ, ரி என்னும் புள்ளிகளில் எதிர்த் திசைகளிலே ஸத, ரிப என்னும் நேர் கோடுகளில் தொழிற்படுவதாகக் கொள்வோம். இவற்றில் P பெரிதென்று

கொள்வோம். ஸத, ரிப என்னும் கோடுகளே இந்தச் சக்திகளைக் குறிப்பிடச் செய்ய வேண்டும். ஸரி-க்களைச் சேர்க்கவும். ஸ, ரி என்னும் புள்ளிகளிலே S, S என்னும் எதிரான இரண்டு சம சக்திகளைச் சேர்க்




படம் 52

கவும். அவற்றை ஸரீ, ரிக என்னும் கோடுகளால் குறிக்கவும். ஸரீநித, ரிபமக என்னும் இணைகரங்களை முற்றுவிக்கவும். ஸ-வில் தொழிற்படும் P, S என்னும் சக்திகளுக்குப் பதிலாக அவற்றின் பயனிலையாகிய $P_1$ என்பதைக் கொள்ளவும். இதை ஸநி குறிக்கும். ரி-யில் தொழிற்படும் Q, S என்னும் சக்திகளுக்குப் பதிலாக அவற்றின் பயனிலையாகிய $Q_1$ என்பதைக் கொள்ளவும். இதை ரிம குறிக்கும். P, Q-க்கள் சமமாய் இராததால் ஸநி, ரிம என்னும் மூலைவரைகளை நீட்டினல்

அவை ஒன்றையொன்று வெட்டும். அவை அவ்வாறு அ-வில் வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். P, Q என்னும் சக்திகளுக்கு இணையாகவும், ஸரீ-யின் நீட்சியை (Projection) ஆ-வில் வெட்டும்படியாகவும், அஆ என்னும் கோட்டை வரையவும். $P_1$, $Q_1$ என்பவற்றின் தொழிற்படு புள்ளிகளை அ என்ற ஒரே புள்ளிக்கு மாற்றவும். அ-வில் $P_1$, $Q_1$ என்னும் சக்திகளை அஆ-வின் திசையிலும், ஸரீ-க்கு இணையாகவும் இரண்டிரண்டு பிரிநிலைகளாகப் பிரிக்கவும். அஆ-வின் திசையிலேற்படும் பிரிநிலைகளின் அளவு முறையே P, Q ஆகும். இவை எதிர்த்திசைகளிலே தொழிற்படும். ஸரீ-யின் திசையிலேற்படும் பிரிநிலைகளின் அளவு S, S ஆகும். இவையும் எதிர்த் திசைகளிலே தொழிற்படும். ஆனால் இவை சமமானவை. எனவே இவையிரண்டும் ஒன்றையொன்று அழித்து விடுமாகையால், இவையிரண்டையும் நீக்கி விடலாம். அஆ-வின் திசையிலேற்படும் R என்னும் பயனிலைச் சக்தியின் அளவு (P—Q) ஆகும். P பெரிதாகையால் இது P-யின் திசையை நோக்கி நிற்கும். இதன் தொழிற்படு புள்ளியை ஆ-வுக்கு மாற்றவும். இப்போது (P—Q) என்னும் சக்தி ஆ-வில் தொழிற்படும். இதுவே P, Q என்னும் இணைச் சக்திகளின் பயனிலையாகும். ஆ-வின் நிலையைத் தீர்மானிப்போம். ஸரீநி, ஸஆஅ என்னும் முக்கோணங்கள் வடிவொத்தன. ஆகையால்

$$\frac{\text{அஆ}}{\text{ஆஸ}} = \frac{\text{நிரீ}}{\text{ரீஸ}} = \frac{P}{S}.$$

ஆகையால் P × ஸஆ = S × அஆ.

மேலும் ரீகம, ரீஅஆ என்னும் முக்கோணங்கள் ஒத்தவடிவினவாகையால்,

$$\frac{\text{அஆ}}{\text{ஆரீ}} = \frac{\text{கம}}{\text{கரீ}} = \frac{Q}{S}.$$

ஆகையால் Q × ரிஆ = S × அஆ.

எனவே P × ஸஆ = Q × ரிஆ.

$$\text{அல்லது}\quad \frac{P}{\text{ரிஆ}} = \frac{Q}{\text{ஸஆ}} = \frac{P-Q}{\text{ரிஆ} - \text{ஸஆ}} = \frac{R}{\text{ஸரி}}.$$

இவற்றைத் தொகுத்துக் கூறும் முறை வருமாறு:— P, Q என்னும் இரண்டு இணைச் சக்திகள் ஒரு பொருளின் மீது முறையே A, B என்னும் புள்ளிகளிலே தொழிற்பட்டால்

(1) அவற்றின் பயனிலைச் சக்தியின் தொழிற்படும் கோடு பிரிநிலைச் சக்திகளின் தொழிற்படு கோடுகளுக்கு இணையானது. மேலும் பிரிநிலைகள் ஒரே திசையை நோக்கி நின்றால் அவற்றின் பயனிலையும் அதே திசையை நோக்கி நிற்கும். அவை எதிர்த்திசைகளை நோக்கி நின்றால் பயனிலை பெரிய பிரிநிலையின் திசையை நோக்கி நிற்கும்.

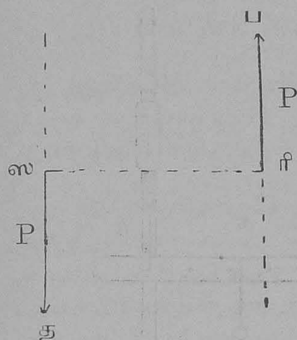
(2) பயனிலையின் தொழிற்படு புள்ளியாகிய C யைக் காணும் முறை வருமாறு:—

$$P \times AC = Q \times BC$$

(3) 'பிரிநிலைகள் ஒரே திசையை நோக்கி நின்றால் பயனிலையின் அளவு அவற்றின் கூட்டுத்தொகையாகும்; அவை எதிர்த்திசைகளை நோக்கி நின்றால் பயனிலையின் அளவு அவற்றின் வேற்றுமையாகும்.

இரட்டைகள் (Couples):—மேலே கண்டவற்றுள் இரண்டாவது வகையில் P, Q என்னும் சக்திகள் சமமானால் ஸநி, ரிம என்னும் நேர்கோடுகள் இணையாகும். ஆகவே நாம் அவை வெட்டுமிடத்தைக் காணமுடியாது. ஆகையால் இவ்விரண்டு சக்திகளின் சேர்க்கைக்கு ஒப்புமையானதொரு சக்தியை நாம் காணமுடியாது. இவ்

வாறு சமமான, ஆனால் எதிரான இரண்டு இணைச்சக்தி களின் அமைப்புக்கு இரட்டை என்று பெயர். படத்தில் (படம் 53) கண்டபடி P, P என்பன இரண்டு சமமான, ஆனால் எதிரான இணைச்சக்திகளைக் குறிக்கும்போது, அவ்விரண்டு சக்திகளின் தொழிற்படு கோடுகளுக்கு இடைப்பட்ட தூரத்தை ஸரி என்று கொண்டால், P×ஸரி என்னும் இராசியை இந்த இரட்டையினது 'திருப்பியல்' என்று கூறுவார்கள்.

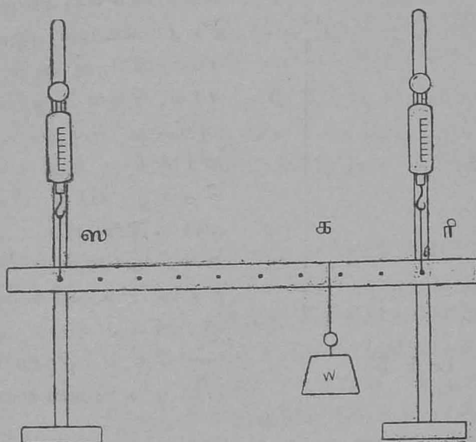



படம் 53

ஸரி என்ற இடைத்தூரம் இரட்டையினது 'சிறை' (arm) எனப்படும். எனவே ஒரு இரட்டையிலுள்ள ஏதேனுமொரு சக்தியையும் அதன் சிறையையும் பெருக்கவரும் தொகையே, அவ்விரட்டையினது திருப்பியல் ஆகும். திருப்பியலானது இரட்டையின் சுழற்சித் திறமையைக் குறிக்கும்.

இணைச்சக்தி விதிகளைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல் :—இரண்டு வில் தராசுகளை ஒன்றுக்கொன்று சிறிது தூரத்திலே இரண்டு மாறியல் தாங்கிகளிலிருந்து தொங்கவிடவும். (படம் 54). அவற்றின் கொக்கிகளிலே ஒரு மீட்டர் அளவியை படுக்கை வாக்கிலே தொங்கவிடவும். இந்த அளவி சரியாகப் படுக்கை வாக்கிலே நிற்கும்படி ஒரு சாராய மட்டத்தைக்கொண்டு சரிப்படுத்தவும். வில் தராசுகளின் வாசகங்களாகிய $P_0$, $Q_0$ என்பவற்றைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும்.

W என்னுமோர் எடையை இவ்விரண்டு வில் தராசு களினிடையே, க என்னு மிடத்தில் கட்டித்தொங்க




படம் 54

விடவும். மறுபடியும் ஒரு சாராய மட்டத்தினுதவியால் அளவியைப் படுக்கை வாக்கிலே நிற்கும்படி சரிப்படுத்தவும். வில்தராசுகளின் தற்போதைய வாசகங்களாகிய $P_1$, $Q_1$ என்பனவற்றைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். அளவி தொங்குமிடங்களில், வில்தராசுகளின் கொக்கிகளின் வாசகங்கள் முறையே ஸ, ரி என்று கொள்வோம். $P_1$, $Q_1$ என்பவற்றில் இருந்து முறையே $P_0$, $Q_0$ என்பவற்றைக் கழிக்க, W வோடு துலைப்படும் P, Q என்னும் சக்திகளின் அளவுகள் கிடைக்கும். ஸக, கரி என்னும் தூரங்களைக்கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். W வின் நிலையைப் பலவாறு மாற்றி அவ்வப்போதும் P, Q என்னும் சக்திகளின் அளவுகளையும், ஸக, கரி என்னும் தூரங்களையும்

கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இந்த பிரேட்சை (Observation) களிலிருந்து

(1) $P + Q = W$ என்றும்,

(2) $P \times$ ஸக $= Q \times$ கரி என்றும் காணலாம்.

இதில் W என்னும் சக்தி P, Q என்னும் சக்திகளின் சமநிலையாதலால், அது அவற்றின் பயனிலைக்குச் சமமாகவும், எதிராகவும், இருக்கும்.

இதே வாசகங்களை எதிர் இணைச் சக்திகளின் விதிகளைச் சரிபார்க்கவும் கொள்ளலாம். இதில் P, W என்பன இரண்டு எதிர் இணைச் சக்திகளென்றும், Q அவற்றின் சமநிலை என்றும் கொண்டால், $(W - P = Q)$ என்றும், $P \times$ ஸரி $= W \times$ கரி என்றும் காட்டலாம். மேலும் இவற்றிலெல்லாம் இணைச் சக்திகளின் அளவு அவற்றுக்கும் பயனிலைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்திற்கு எதிர்விகிதமாக இருப்பதைக் கண்டறியலாம். ஒரு சக்தி எவ்வளவுக்கெவ்வளவு பெரிதாய் இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு அது பயனிலையை அணுகி நிற்கும்.

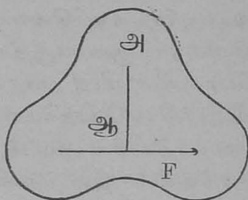
பல இணைச்சக்திகளின் பயனிலை:—ஒரு பொருளின் மீது ஏககாலத்தில் $P_1, P_2, P_3, \ldots\ldots P_n$ என்னும் பல இணைச் சக்திகள் தொழிற்படுவதாகக் கொள்வோம். முதலில் $P_1, P_2$ என்னும் இரு சக்திகளை மட்டும் கொண்டு அவற்றின்பயனிலையாகிய $P'_1$ ஐக் காண்போம். இதன் அளவு $P_1 + P_2$ ஆகும். பிறகு இந்தப் பயனிலையோடு $P_3$ என்னும் மூன்றுவதொரு சக்தியைக் கூட்டி அவற்றின் பயனிலையாகிய $P'_2$ ஐக் காண்போம். இதன் அளவு $(P_1 + P_2) + P_3$ ஆகும். இவ்வாறு ஒவ்வொரு சக்தியாகக் கூட்ட வரும் பயனிலை P யின் அளவு $(P_1 + P_2 + P_3 \ldots\ldots P_n)$ ஆகும். இப்போது ஒரு பொருளின் மீது $(P_1, P_2, P_3, \ldots\ldots P_n)$

என்னும் இணைச் சக்திகள் ஒரு திசையிலும் ($Q_1$, $Q_2$, $Q_3$......$Q_n$) என்னும் இணைச் சக்திகள் எதிர்த்திசையிலுமாகத் தொழிற்படுவதாகக் கொள்வோம். பின்னையவற்றின் பயனிலை $Q = (Q_1 + Q_2 ... Q_n)$ ஆகும். எனவே இச்சக்திகளின் முடிவான பயனிலை ($P-Q$) அல்லது ($Q-P$) ஆகும். P பெரிதானால் இது $P_1$, $P_2$ என்பவற்றின் திசையிலும், Q பெரிதானால் இது $Q_1$, $Q_2$ என்பவற்றின் திசையிலும் தொழிற்படும். பொருள் சமநிலையில் இருந்தால் P, Q என்பன சமமாயும் எதிராயும் இருக்கவேண்டும்.

திருப்பியல் :—ஏதேனுமொரு இருசைச் சுற்றி சுழலக் கூடிய ஒரு பொருளின் மீது எந்த இடத்திலாயினும் ஒரு சக்தி தொழிற்பட்டால் பொதுவாய் அது சுழலும். ஆனால் இச்சக்தியின் தொழிற்படும் கோடு இருசின் வழியாகச் சென்றால் இவ்வாறு சுழலாது. உதாரணமாக ஒரு கதவை எடுத்துக்கொள்வோம். இது தனது கீலைச் சுற்றித்திரும்பும். ஆனால் கதவைக் கீலை நோக்கித் தள்ளினால் அது அசையாமல் நிற்கும்.

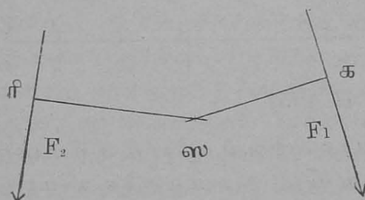
கதவை அதன் தளத்திற்குச் செங்குத்தான திசையிலே தள்ளுவதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறு தள்ளுமிடம், எவ்வளவுக் கெவ்வளவு கீலினிடமிருந்து தூரமாய் இருக்கிறதோ, அவ்வளவுக் கவ்வளவு தள்ளுவதும் எளிதாகும். இவ்வாறே தள்ளும் சக்தி அதிகமானால், கதவு திரும்பும் வேகமும் அதிகமாகும். எனவே ஒரு சக்தியின் திருப்பும் திறமை, அதன் அளவுக்கும், அதன் தொழிற்படு கோட்டிற்கும் சுழற்சி இருசுக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்திற்கும், ஏற்பநேராக இருக்கும் என்று கொள்ளலாம். இவ்வாறு ஒரு பொருளை ஏதேனுமொரு இருசைச் சுற்றித் திருப்புவதற்கான ஒரு சக்தியின் திறமையே, அதன் திருப்பி

யல் எனப்படும். சக்தியின் அளவையும், அதன் தொழிற்படு கோட்டிற்கும் சுழற்சி இருசுக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தையும் பெருக்கி வந்த தொகையே, அவ்விருசைச்சுற்றித் திருப்பக்கூடிய அச்சக்திக்குரிய திருப்பியலின் அளவு ஆகும். இருசு இதுவென்று குறிப்பிடாதவரை திருப்பியல் என்னும் சொல்லுக்குப் பொருள் இல்லையாகும். படத்தில் கண்டபடி (படம் 55) இந்த எட்டிற்குச் செங்குத்தாய் அ-வின் வழியாகச் செல்லுமோர் இருசைச் சுற்றி F என்னும் சக்தியின் திருப்பியல் F×அஆ ஆகும். இதில் அஆ என்பது சுழற்சி இருசுக்கும் சக்தியின் தொழிற்படு கோட்டிற்கும் இடைப்பட்ட தூரம் ஆகும். தவிர இத்தூரத்தை எப்பொழுதும் இருசிலிருந்து சக்தி தொழிற்படு கோட்டிற்கு லம்பம் வரைந்தே காணவேண்டும்.



படம் 55

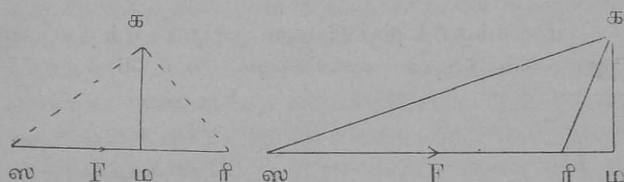
மிகைக்குறித் திருப்பியலும் குறைக்குறித் திருப்பியலும் :—படத்தைக் கவனிக்கவும் (படம் 56). அதில் ஸ-வின் வழியாக, இந்த எட்டிற்குச் செங்குத்தாகச் செல்லும் இருசைச் சுற்றி, $F_1$ என்னும் சக்தியின் திருப்பியல் $F_1$ × ஸக ஆகும். இது வலம்புரியாகச் (Clock wise) சுழற்ற முயலுகிறது. $F_2$ என்னும் சக்தியின் திருப்பியல் $F_2$ × ஸரி ஆகும். இது இடம்புரியாகச்



படம் 56

சுழற்ற (anticlockwise) முயலுகிறது. இவ்விருவகைச் சுழற்சிகளும், அவற்றையுண்டாக்கும் திருப்பியல்களும் ஒன்றுக்கொன்று எதிரானவை. எனவே இவற்றில் ஒன்றை மிகைக்குறியாகவும் மற்றொன்றை குறைக்குறியாகவும் கொள்ளலாம். இடம்புரிச் சுழற்சியையும் அதையுண்டாக்கும் திருப்பியலையும் மிகைக்குறியாகவும் வலம்புரிச் சுழற்சியையும் அதையுண்டாக்கும் திருப்பியலையும் குறைக்குறியாகவும் கொள்வது மரபு. ஒரு பொருளின் மீது பலசக்திகள் ஏககாலத்தில் தொழிற்பட்டால் ஏதேனுமொரு இருசைச் சுற்றி ஏற்படும் அச்சக்திகளின் கூட்டுத் திருப்பியல், அப்பல் வேறு சக்திகளின் தனித்தனித் திருப்பியல்களின் குறியியல் கூட்டுத் தொகையாகும். இத்தொகையைக் காணும் போது ஒவ்வொரு திருப்பியலுக்கும் அதற்குரிய குறியை இட்டுக்கொள்ளவேண்டும்.

திருப்பியலை வடிவியல் முறையால் குறித்தல்:— F என்னும் ஒரு சக்தியை அளவிலும், திசையிலும்,




படம் 57

தொழிற்படுவரையிலுமாக ஸரி என்ற கோடு குறிப்பதாகக் கொள்வோம். (படம் 57). க என்ற ஏதேனுமொரு புள்ளியைச் சுற்றி, F என்னும் சக்தியின் திருப்பியலைக் காண்போம். க-விலிருந்து ஸரி-யின்மீது கம என்னும் லம்ப (perpendicular) மொன்று வரையவும். கஸ, கரி-க்களைச் சேர்த்துவிடவும். இலக்கணப்படி

க-வைச்சுற்றி F-இன் திருப்பியல் ஸரி × கம ஆகும். ஆனால் ஸரி × கம என்பது ஸகரி என்னும் முக்கோணத்தினது பரப்பின் இருமடங்காகும். அதாவது ஏதேனுமொரு புள்ளியைச் சுற்றி ஒரு சக்தியின் திருப்பியல், அச்சக்தியைக் குறிக்கும் கோட்டைப் பீடமாகவும் (base) அப்புள்ளியைமேல் முனையாகவும் (vertex) கொண்ட முக்கோணத்தினது பரப்பின் இரு மடங்காகும்.

ஒரு புள்ளியைச் சுற்றி ஒரே தளத்தில் தொழிற்படும் இரண்டு சக்திகளின் திருப்பியல், அதே புள்ளியைச் சுற்றி அவற்றின் பயனிலையின் திருப்பியலுக்குச் சமமாகும்.

வகை 1. இச்சக்திகள் தொழிற்படும் வரைகள் ஓரிடத்தில் கூடுவனவாகக் கொள்வோம். P, Q என்னுமிரண்டு ஒருதளச் சக்திகள் ஸ என்னும் ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படுவதாகக் கொள்வோம். அ என்னும் ஏதேனுமொரு புள்ளியைச் சுற்றி இவற்றின் திருப்பியல்களைக் கணக்கிடுவோம். P-க்கு இணையாக அக என்னும் கோட்டை வரையவும். ஸக என்பது Q என்னும் சக்தியை அளவில் குறிப்பிடுவதாகக் கொள்வோம். இதே பரிமாணத்தில் ஸரி என்னும் கோட்டை P-யைக் குறிக்கும் படியாக எடுத்துக் கொள்ளவும். ஸரிகம என்னும் இணைகரத்தை முற்றுவித்து ஸம, அஸ, அரி என்பதைச் சேர்க்கவும். இப்போது ஸம என்பது P, Q என்னும் சக்திகளின் பயனிலையாகிய R என்னும் சக்தியைக் குறிக்கும்.

(*a*) முதல் படத்தில் (படம் 58 (1)) கண்டபடி அ என்னும் புள்ளி கோணம் ரிஸக-வுக்கு வெளியில் இருந்தால் 2 △ அஸரி + △ அஸக = 2 △ அஸம

38

என்று காட்ட வேண்டும். இதில் P, Q என்னும் சக்திகளின் திருப்பியல்கள் ஒரே திசையிலிருக்கின்றன. ஸரி, அம என்பன இணையானவை. ஆகையால்

△ அஸரி = △ மஸரி = △ ஸகம.



படம் 58 (1)

∴ 2 △ அஸரி + 2 △ அஸக = 2 △ ஸகம + 2 △ அஸக = 2 △ அஸம

(*b*) இரண்டாவது படத்தில் (படம் 58 (2)) கண்ட



படம் 58 (2)

படி அ என்னும் புள்ளி, கோணம் ரிஸக-வுக்கு உட்பட்டிருந்தால், அ வைச் சுற்றி P, Q என்னும் சக்திகளின் திருப்பியல்கள் எதிர்த் திசைகளில் இருக்கின்றன.

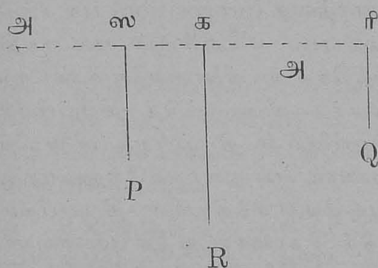
ஆகையால் 2 △ ஸஅரி — 2 △ ஸஅக = 2 △ ஸமஅ என்று காட்டவேண்டும்.

முன்னே கூறியபடியே

△ ஸஅரி = △ ரிமஸ = △ மகஸ

∴ 2 △ ஸஅரி − 2 △ ஸகஅ = 2 △ மகஸ − 2 △ ஸகஅ = 2 △ ஸமஅ.

வகை 2 :—இரண்டு சக்திகளும் இணையாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். P, Q என்பன இரண்டு இணைச் சக்திகள் என்றும் P+Q = R என்பது அவற்றின் பயனிலை என்றும் கொள்வோம். (படம் 59 (1)).




படம் 59 (1)

இவற்றின் தளத்திலேயுள்ள அ என்னும் ஏதேனுமொரு புள்ளியிலிருந்து அஸகரி என்னும் லம்பத்தை வரையவும். P. ஸக = Q. கரி என்பதை நாமறிவோம்.

அ-வைச் சுற்றி P, Q-க்களின் திருப்பியல்களின் தொகை.

= Q. அரி + P. அஸ = Q(அக + கரி) + P(அக − ஸக)

= (P+Q) அக + Q. கரி − P. ஸக

= (P+Q) அக

= அ-வைச் சுற்றி பயனிலை R-ன் திருப்பியல்.

அ என்னும் புள்ளி P, Q-க்களின் இடையே இருந்தால், அதைச் சுற்றி P, Q-க்களின் திருப்பியல்கள் எதி

ரானவையாகும். இந்த வகையிலே P, Q-க்களின் திருப்பியல்களின் தொகை.

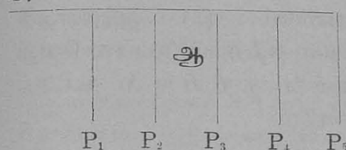
$$= P\cdot அஸ - Q\cdot அரி$$
$$= P(அக + ஸக) - Q(கரி - அக)$$
$$= (P + Q) அக + P\cdot ஸக - Q\cdot கரி$$
$$= (P + Q) அக.$$

மேலே கண்ட ஊகத்தை (proposition) பல சக்திகளுக்கும் பிரயோகிக்கலாம். ஏனென்றால் பல சக்திகளின் பயனிலே அச்சக்திகளின் விளைவையே உண்டாக்கும். ஆகையால் பல சக்திகளின் கூட்டுத் திருப்பியல் விளைவு, அவற்றின் பயனிலையின் திருப்பியல் விளைவிற்குச் சமமாகும். ஆகையால் பொதுவாக ஏதேனுமொரு புள்ளியைச் சுற்றிப் பல வேறு சக்திகளின் திருப்பியல்களின் குறியியல் கூட்டுத் தொகை, அதே புள்ளியைச் சுற்றி அச்சக்திகளினது பயனிலையின் திருப்பியலுக்குச் சமமாகும் என்று நாம் கூறலாம்.

பல வேறு இணைச் சக்திகளினது பயனிலையின் தொழிற்படும் புள்ளியைக்காண:—பலவேறு இணைச் சக்திகளது பயனிலையின் அளவு, அச்சக்திகளின் தனித்தனி அளவுகளின் குறியியல் கூட்டுத்தொகையேயாகும் என்று நாம் முன்பு கண்டோம். திருப்பியலைப் பற்றிய ஊகத்தைகொண்டு அப்பயனிலையின் தொழிற்படு புள்ளியை எளிதாக நிர்ணயித்து விடலாம். ஏதேனுமொரு புள்ளியைச் சுற்றிப் பலவேறு சக்திகளது திருப்பியல்களின் குறியியல் கூட்டுத் தொகை, அதே புள்ளியைச் சுற்றி அப்பல வேறு சக்திகளனது பயனிலையின் திருப்பியலுக்குச் சமமாகும்.

$P_1$, $P_2$, $P_3$, $P_4$, $P_5$ என்பன பலவேறு இணைச்சக்திகள் என்றும், R என்பது அவற்றின் பயனிலையென்றும்,

அதனால் $R = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$ என்றும் கொள்வோம். அ என்பது ஏதேனுமொரு குறிப்பிட்ட புள்ளியென்றும், அஸரிகமப என்னும் கோடு முன்னால் கூறிய சக்திகளின் தொழிற்படு கோட்டை லம்பமாக முறையே ஸரிகமப என்னும் புள்ளிகளில் வெட்டுவதாகவும் கொள்வோம். R என்னும் பயனிலையின் தொழிற்படுகோட்டை இது ஆ என்ற இடத்தில் வெட்டுவதாகவும் கொள்வோம். அ-வைச் சுற்றி திருப்பியல் எடுக்க



படம் 59 (2)

$$R \times \text{அஆ} = P_1 \times \text{அஸ} + P_2 \times \text{அரி} + P_3 \times \text{அக} + P_4 \times \text{அம} + P_5 \times \text{அப} \text{ ஆகும்.}$$

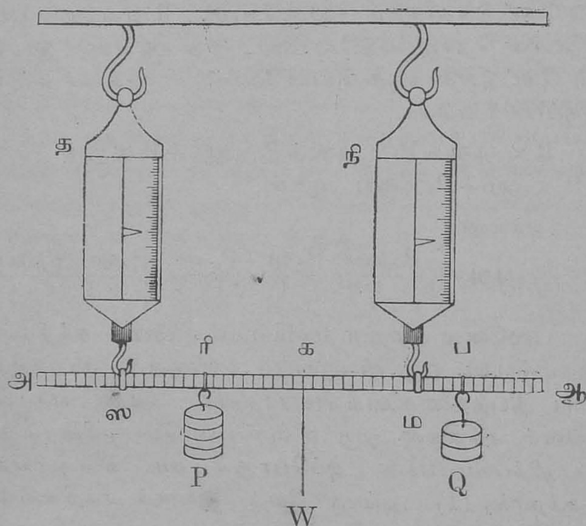
அல்லது

$$\text{அஆ} = \frac{P_1 \cdot \text{அஸ} + P_2 \cdot \text{அரி} + P_3 \cdot \text{அக} + P_4 \cdot \text{அம} + P_5 \cdot \text{அப}}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5}$$

பலவேறு ஏகதள (coplanar) இணைச் சக்திகள் தொழிற்படும் ஒரு விறைப்புப் பொருளின் சமநிலைக்குரிய நிபந்தனைகளைக்காண:—பல வேறு ஏகதள இணைச் சக்திகள் ஒரு விறைப்புப் பொருளின் மீது தொழிற்படும்போது அப்பொருள் சம நிலைமையில் இருந்தால், (1) அப்பல வேறு இணைச் சக்திகளின் பயனிலை சூனியமாக வேண்டும்; அதாவது அப்பொருளுக்குப் இடப்பெயர்ச்சி இயக்கம் யாதும் இருக்கமுடியாது. மேலும் (2) இப்பல்வேறு சக்திகளும் ஒருங்கு கூடி, அவற்றின் தளத்திலேயுள்ள எந்தப் புள்ளியைச் சுற்றியும், யாதொரு சுழற்சி விளைவையும் உண்டாக்க மாட்டாவாம். அதாவது அப்பொருளில் சுழற்சி ஏற்

படாது. ஆகையால் ஏகதள இணைச் சக்திகளின் சமநிலைமை நிபந்தனைகளை நாம் கூறும் முறை வருமாறு: (1) பல வேறு இணைச்சக்திகளின் குறியியல் கூட்டுத்தொகை சூனியமாகவேண்டும். (2) அத்தளத்திலுள்ள எந்தப் புள்ளியைச் சுற்றியும் இப்பல வேறு சக்திகளின் திருப்பியல்களின் குறியியல் கூட்டுத்தொகை சூனியமாக வேண்டும்.

சோதனையால் சரிபார்த்தல். *(படம் 60).* அஆ என்ற ஒரு மீட்டர் அளவியின் எடையாகிய W-வைக்




படம் 60

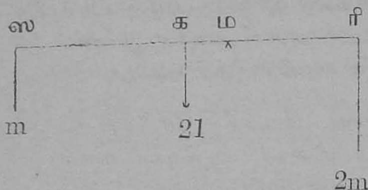
கண்டு குறித்துக்கொண்டு, அதை த, நி என்னுமிரண்டு வில்தராசுகளின் கொக்கிகளிலிருந்து, ஸ, ம என்னுமிடங்களிலே சரடுகளைக் கட்டிப் படுக்கை வாக்கிலே தொங்கவிடவும். P, Q என்னுமிரண்டு எடைக்கற்களை

ரி, ப என்னுமிரண்டிடங்களில் கட்டித் தொங்கவிட்டு, ஒரு சாராய மட்டத்தினுதவியால் மறுபடியும் மீட்டர் அளவியைப் படுக்கை வாக்கில் இருக்கும்படிச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது மீட்டர் அளவி ஏகதள இணைச் சக்திகளுக்குட்பட்டு சமநிலைமையில் நிற்கிறது.

வில்தராசுகளில் கண்ட பிகுக்கள் மேனோக்கும் சக்திகளாகும். இவற்றை மிகைக் குறியுடையனவாய்க் கொள்ளலாம். ரி, ப என்னுமிடங்களில் தொங்கும் P, Q என்னும் சக்திகளும் க என்ற மையப் புள்ளியில் தொழிற்படும் மீட்டர் அளவியின் எடையும் கீழ் நோக்கும் குறைக்குறிச் சக்திகளாகும். வில்தராசுகளின் வாசகங்களாகிய த, நி என்பவற்றைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இப்போது நி + த = (P + Q + W) என்பது தெரியவரும். இதனால் இவ்வைந்து இணைச் சக்திகளின் குறியியல் கூட்டுத் தொகை சூனியமென்பது விளங்கும். ஸ, ம, க, ரி, ப என்னும் புள்ளிகளின் நிலைகளை அளவியில் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இப்போது அளவியின் மீது இ என்னும் ஏதேனுமொரு புள்ளியை எடுத்துக்கொண்டு இஸ, இம, இரி, இப, இக என்னும் தூரங்களைக் கண்டு சக்திகளுக்குரிய திருப்பியல்களை அவற்றிற்குரிய குறிகளுடன் சேர்த்துக் கூட்டிப்பார்க்க, அவற்றின் தொகை சூனியமென்பது தெரியவரும். இப்படியே ரி, ப என்னும் புள்ளிகளின் நிலைகளை மாற்றியும், P, Q என்னும் எடைகளை மாற்றியும் அவ்வப்போது த, நி என்னும் வாசகங்களைக் கண்டு மேற்கண்ட பரிசோதனையைத் திருப்பிச் செய்து சரிப்பார்க்கவும்.

உதாரணம் 1 :—12 அடி நீளமுள்ள சீரானதொரு விட்டத்தின் நிறை 21 பவு. இதன் ஒவ்வொரு முனையிலும் ஒவ்வொரு எடை கட்டித் தொங்கவிடப் பட்டது.

ஒரு எடை மற்ருெரு எடையின் இருமடங்காகும். இவற்றுடனே அவ்விட்டம் ஒரு முனையிலிருந்து 5 அடி தூரத்திலே துலைப்படுகிறதானல் இவ்வெடைகளை காண்க. படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 61). ஸரி என்ற விட்டத்திலே க என்பது மையப்புள்ளி




படம் 61

யென்றும், ம என்ற புள்ளியைச் சுற்றி எடைகளுடனே அவ்விட்டம் துலைப்படுவதாகவும் கொள்வோம்.

க-விலே விட்டத்தின் எடையாகிய 21 பவு. தொழிற்படும்.

ம-வைச் சுற்றித் திருப்பியல் காண.

$m \times$ ஸம $+ 21 \times$ கம $= 2\,m \times$ ரிம

ஆனல் ஸம = 7 அடி ; கம = 1 அடி ; ரிம = 5 அடி ஆகும்.

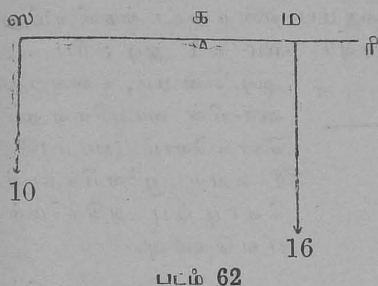
எனவே $7m + 21 = 10\,m$

அல்லது $m = 7$ பவு. ஆகும்.

ஆகையால் அவ்விட்டத்திலே கட்டித் தொங்கும் எடைகள் முறையே 7 பவு., 14 பவு. நிறைகொண்டனவாகும்.

உதாரணம் 2 :—4 அடி நீளமுள்ள சீரான சட்டமொன்று அதன் நடு மையத்திலே பூட்டப்பட்டுள்ளது. 10 பவு. எடை அதன் ஒரு முனையிலிருந்து தொங்குகிறது. 16 பவு. கொண்ட மற்ருெரு எடையைத் தொங்கவிட்டு இச்சட்டம் படுக்கை வாக்கிலே நிறுத்தப்பட்டது. இரண்டாவது எடையின் நிலையைக் காண்க.

படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 62). ஸரி என்ற சட்டத்தின் நடுப்புள்ளி க என்றும், ம என்ற புள்ளியிலே இரண்டாவது எடை தொங்குவதாகவும் கொள்வோம். முதல் எடை தொங்கும் புறத்திற்கு எதிர்ப் புறத்திலே, இரண்டாவது எடை தொங்க வேண்டுமென்பது வெளிப்படை. நிற்க,



படம் 62

க-வைச் சுற்றி திருப்பியல் காண.

$$10 \times ஸக = 16 \times கம$$

$$கம = \frac{10}{16} ஸக.$$

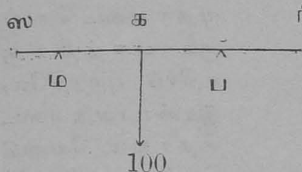
ஸக = 2 அடி, ஆகையால் கம = 15 அங்.

எனவே இரண்டாவது எடை முதல் எடைக்கு எதிர்ப் புறத்திலே நடுப்புள்ளியிலிருந்து **15** அங். தள்ளி நிற்க வேண்டும்.

உதாரணம் 3 :—100 பவு. நிறையும் 12 அடி நீளமும் கொண்டதொரு சீரான பலகை, படுகை வாக்கிலே இணையாக நிற்கும் இரண்டு சட்டங்களின் மீது அவற்றுக்குக் குறுக்காக வைக்கப்பட்டது. ஒரு சட்டத்திற்கு வெளியே பலகையின் ஒரு முனை ஒரு அடி தூரமும், மற்றொரு சட்டத்திற்கு வெளியே பலகையின் மற்றொரு முனை 2 அடி தூரமும் நீட்டிக்கொண்டிருக்கின்றன.

இதன்மீது நொடிக்காமல் நடந்து செல்லக்கூடிய மனித னுடைய உச்சநிறை யாதாகும்?

ஸரி என்ற பலகை மப என்ற சட்டங்களின்மீது வைக்கப்பட்டிருப்பதாகவும், ஸம = 1 அடி; ரிப = 2 அடி என்றும், க என்பது ஸரி-யின் மையமென்றும் கொள்வோம். (படம் 63). ரி என்ற முனையில்தான் நொடிப்பு அதிகமென்பது தெளிவு.




படம் 63

அங்கே நொடிப்பு இல்லாதிருக்கவேண்டுமானல் ப-வைச் சுற்றிய திருப்பியல் சூனியமாக வேண்டும்.

அதாவது 100 × கப = W × ரிப.

இதில் W என்பது மனிதனுடைய எடை.

கப = 4 அடி; ரிப = 2 அடி.

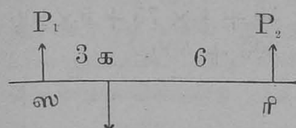
எனவே 100 × 4 = W × 2.

அல்லது W = 200 பவு. ஆகும்.

எனவே பலகை நொடிக்காதிருக்க வேண்டுமானல் மனிதனது எடை **200** பவுண்டுக்கு மேற்படக் கூடாது.

உதாரணம் 4:—கனமானதொரு ஏணியை இரண்டு கூலிகள் சுமந்து செல்லுகிறார்கள். இந்த ஏணியின் கவர்ச்சிமையம், ஒருவனுக்கு 3 அடி தூரத்திலும் மற்றொருவனுக்கு 6 அடி தூரத்திலும் இருக்கிறது. ஏணியின் எடையிலே ஒவ்வொருவனும் தாங்கும் பகுதியைக் கணக்கிடுக.

ஸரி என்ற இடங்களிலே கூலிகள் சுமப்பதாகக் கொள்வோம். (படம் 64). $P_1, P_2$ முறையே ஸ, ரீ என்ற இடங்களில் உள்ள இறுக்கம் என்று கொள் வோம். க-வைச் சுற்றித் திருப்பியல் காண




படம் 64

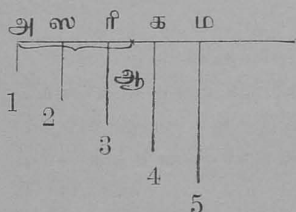
$$P_1 \times 3 = P_2 \times 6$$

அல்லது $\frac{P_1}{P_2} = \frac{6}{3} = \frac{2}{1}$

எனவே ஏணியின் நிறையிலே மூன்றிலிரண்டு பங்கை ஸ-வும் மூன்றிலொரு பங்கை ரீ-யும் சுமக்கிறார் கள்.

உதாரணம் 5 :—அற்பமான நிறைகொண்டதொரு மீட்டர் அளவியிலே 25 செ. மீ. இடைவெளிகளுண்டா கும்படி, 1 பவு., 2 பவு., 3 பவு., 4 பவு., 5 பவு. கொண்ட எடைகள் முறையே தொங்குகின்றன. இச்சட்டம் படுகை நிலையிலே நிற்கவேண்டுமானால், அதை எந்த இடத்திலே தாங்கவேண்டும்.

(அண்ணாமலை 1932)




படம் 65

25 செ.மீ. இடைவெளியுள்ள அ, ஸ, ரீ, க, ம என்ற புள்ளிகளை எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 65). முறையே அவ்விடங்களிலிருந்து 1 பவு., 2 பவு., 3 பவு., 4 பவு., 5 பவு. என்ற எடைகள் தொங்குகின்றன. எல்லாம் இணைச் சக்திகள்.

ஆகையினால் அவைகளின் பயனிலை 15 பவு. ஆகும். அ-வை சுற்றி திருப்பியல் காண்வோம்.

$$15 \times X = 2 \times 25 + 3 \times 50 + 4 \times 75 + 5 \times 100$$
$$= 50 + 150 + 300 + 500.$$
$$15 \times X = 1000$$
$$X = \frac{1000}{15} = 66\frac{2}{3} \text{ செ. மீ.}$$

அ-விலிருந்து $66\frac{2}{3}$ செ. மீ. தூரத்தில் ஆ என்ற இடத்தில் அளவியைத் தாங்கவேண்டும்.

## வினாக்கள்

1. 10 செ. மீ. விலகி நின்று தொழிற்படும் இரண்டு முரணிய இணையான P, Q என்னும் சக்திகளை முறையே ஒத்த சக்திகளென்றும், எதிர்ச் சக்திகளென்றும் கொண்டு அவற்றின் சமநிலையைக் காண்க.

(i) $P = 100 ; Q = 90.$

(ii) $P = 100 ; Q = 99.$

(iii) $P = 100 ; Q = 100.$

2. இணையான, ஆனால் எதிரான இரண்டு சக்திகளின் பயனிலையை எவ்வாறு பரிசோதனையால் காணலாமென்று விவரமாய் விளக்கிக் கூறுக.

(சென்னை, செப். 1935)

3. இரண்டு மனிதர்கள் லேசானதொரு சட்டத்திலே ஒரு எடையைக் கட்டிச் சுமந்து செல்லுகிறார்கள். ஒருவன் மீது தாக்கும் எடையைப்போல மற்றொருவன் 3 மடங்கு எடையைத் தாங்குகிறான். இந்த எடையின் நிலையைச் சட்டத்தின் நெடுக 2 அடி தூரம் நகர்த்தினால், மனிதர்கள் மீது தாக்கும் எடைகள் அப்படியே மாறி விடுகின்றன. இச்சட்டத்தின் நீளத்தைக் காண்க.

4. ஒரு விறைப்புப் பொருளின் மீது இரண்டு வெவ்வேறு புள்ளிகளிலே தொழிற்படும் இரண்டு வெவ்வேறான அளவுள்ள இணையான சக்திகளின் பயனிலையைக் குறித்துச் சொல்லும் ஊகத்தை எடுத்துக் கூறி நிரூபிக்கவும்.

சீரான தொரு சட்டம் அதன் கவர்ச்சி மையத்திலே தொடுக்கப்பட்டுள்ள கயிற்றிலே தொங்குகிறது. இக்கயிறு ஒரு சகடையின் மீது படிந்து, மறு நுனியில்

5 கி. கிராம் எடையைத் தாங்குகிறது. இதன் மையத்திற்கு 15 செ. மீ. விலகி 2 கி. கிராம் நிறையுள்ள எடை தொங்கும்போது இச்சட்டம் சமநிலைமையில் நிற்க வேண்டுமானால், எந்த எடையை எங்கே தொங்கவிட வேண்டும்? சட்டத்தின் எடையைத் தள்ளிவிடலாம்.
(சென்னை 1925 மார்ச்.)

5. 100 செ. மீ. நீளமுள்ள தொரு சீரான சட்டத்திலே, ஒரு முனையிலிருந்து 20 செ. மீ. தூரத்தில் 100 கிராம் எடை தொங்கும் போது, அதே முனையிலிருந்து 30 செ. மீ. தூரத்திலே துலைப்படுகிறது. இச்சட்டத்தின் நிறையைக் காண்க.

6. 8 அடி நீளமும் 30 பவு. நிறையுங்கொண்ட தொரு சீரான விட்டம், 4 அடி விலகியுள்ள இரண்டு தாங்கல்கள்மீது நிற்கிறது. இதன் ஒரு முனை தாங்கல்களுக்கு வெளியே 1 அடி நீட்டிக்கொண்டிருக்கிறது. இரு தாங்கல்களின் மீதும் ஒரே யளவு எடை தாக்க வேண்டுமானால் 20 பவு. கொண்டதொரு எடையை இவ்விட்டத்தின் மையத்திலிருந்து எவ்வளவு தூரம் விலகித் தொங்கவிடவேண்டும்?

7. 9 அடி நீளமுள்ள கழி யொன்றிலே ஒரு உலோகக் கட்டியைத் தொங்கவிட்டு, அதை இரண்டு மனிதர்கள் சுமந்து செல்லுகிறார்கள். ஒவ்வொருவனும் கழியின் நுனியிலிருந்து 6 அங். விலகி நிற்கிறான். ஒரு மனிதன் மற்றொரு மனிதன் தாங்கும் எடையிலே $\frac{3}{4}$ பங்கு தாங்குகிறான் என்றால் அக்கட்டி எங்கே தொங்குகிறது என்று காண்க.

8. முறையே 2, 3, 4, 5, 8 பவு. நிறைகள் ஒரு லேசான கம்பியின் நெடுக, அதன் ஒரு முனையிலிருந்து முறையே 3, 5, 7, 10, 12 அடி தூரங்களிலே தொங்க

விடப்பட்டுள்ளன. இச்சட்டத்தின் துலைப்படு நிலையைக் காண்க.

9. 20 பவு. நிறையும் 6 அடி நீளமும் கொண்ட சீரானதொரு சட்டத்தின் நெடுக ஒரு முனையிலிருந்து 1 அடி, 3 அடி, 5 அடி, 6 அடி தூரங்களிலே முறையே 1 பவு., 5 பவு., 6 பவு., 8 பவு. எடைகள் தொங்குகின்றன. இச்சட்டம் எவ்விடத்திலே துலைப்படக்கூடுமென்று காண்க.

10. ஒரே பொருளின்மீது தொழிற்படும் பல இணைச் சக்திகளின் சமநிலைமைக்குரிய நிபந்தனைகளை எடுத்துக் கூறுக.

சீரான 5 அடி நீளமுள்ளதொரு சட்டத்தின் மத்தியப் புள்ளியிலிருந்து 480 பவு- எடை தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. இச்சட்டத்தின் இரு முனைகளும் கத்திமுனைகளால் தாங்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒருகத்தி முனையின்மீது தாக்கும் இறுக்கம் 490 பவு. இருக்க வேண்டுமானால் அதிலிருந்து 2 அடி தூரத்தில் எவ்வளவு எடையைத் தொங்கவிடவேண்டும்? (சட்டத்தின் எடை 20 பவு.)

(சென்னை 1920 அக்.)

11. 'ஒரு புள்ளியைச் சுற்றி ஒரு சக்தியின் திருப்பியல்' என்றால் என்ன பொருளென்று விளக்கவும்.

900 கிராம் எடையும் 150 செ. மீ. நீளமும் கொண்டதொரு பலகை, 30 செ. மீ. சிறை கொண்டதொரு செங்கட்டியின்மீது சமசீராக வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் ஒரு முனையில் 200 கிராம் எடை தொங்கும்போது, இதன் மற்றொரு முனையை மேலே தூக்குவதற்கு, அங்கே எவ்வளவு சக்தி வேண்டியிருக்கும்?

(சென்னை 1922 செப்.)

12. ஒரு சிறு வாய்க்கால்மீது நிஸ என்ற ஒரு லேசான பலகை குறுக்காகப் போடப்பட்டிருக்கிறது. 144 பவு எடையுள்ள ஒரு மனிதன் அப்பலகைமீது ப என்ற இடத்திலே நிற்கிறான். ப என்ற புள்ளி நிஸ-வை 7 : 9 என்ற தகவிலே பிரிக்கிறது. நி, ஸ என்ற புள்ளிகளில் ஏற்படும் அழுத்தங்களைக் காண்க.

(சென்னை 1923 செப்.)

13. 'இணை சக்திகளின் மையம்' என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. மூன்று இணைச்சக்திகளின் பயனிலையினது நிலை, திசை, பரிமாணம் ஆகியவற்றை எவ்வாறு நிர்ணயிப்பது?

14 அடி நீளங் கொண்டதொரு சீரான பலகையின் மீது அதன் மையத்திலே 200 பவு. எடையுள்ள ஒரு மனிதன் நிற்கிறான். இப்பலகையின் முனைகளிலிருந்து, 5 அடி தள்ளி இருக்கும் இரண்டு இடங்களிலே, இப் பலகை தாங்கப்பட்டிருக்கிறது. அவன் ஒரு முனையை நோக்கி நடந்துசென்றால் பலகை எப்போது நொடிக்கும்? மற்றும் ஒரு முனையிலிருந்து அவன் 1 அடி தூரத்தில் நிற்கும்போது, பலகை நொடிக்காமல் இருக்கவேண்டுமானால், மற்றொரு முனையிலிருந்து 1 அடி தூரத்தில், எவ்வளவு எடையை வைக்கவேண்டும்? பலகையின் எடை 150 பவு.

(சென்னை 1929 செப்.)

14. 'ஒரு புள்ளியைச் சுற்றி ஒரு சக்தியின் திருப்பியல்' என்றால் என்ன?

லேசான ஒரு சட்டம் 12 அங். இடைவிலக்கமுள்ள இரண்டு வில் தராசுகளினால் தாங்கப்படுகிறது. முறையே 3 பவு., 4 பவு. எடைகள் 20 அங். இடைவிலக்கமுடையனவாய், இச்சட்டத்திலிருந்து தொங்குகின்றன. இந்த இரண்டு எடைகளும் வில் தராசு

களுக்கு வெளியே நிற்கின்றன. (a) 3 பவு. எடை ஒரு தராசிலிருந்து 5 அங். விலகி நிற்கும்போதும், (b) இதே நிலையில் எடைகள் இடம் மாற்றப்பட்டபோதும், வில் தராசுகளின் வாசகங்களைக் காண்க.

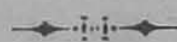
(சென்னை மார்ச், 1921.)

15. மேஜையின்மீது கிடத்தப்பட்டுள்ள சீரான தொரு சட்டத்தின் முனை, மேஜையின் விளிம்புக்கு வெளியே 12 அங். நீட்டிக்கொண்டிருக்கிறது. இந்த முனையிலே 12 அவு. எடையைத் தொங்கவிட்டால் சட்டம் நொடிக்கிறது. இந்த முனை 16 அங். வரை மேஜையின் விளிம்புக்கு வெளியே நீண்டிருக்கும்படிச் செய்தால், அம் முனையிலே 2 அவு. எடையே அதை நொடிக்கச் செய்கிறது. அச் சட்டத்தின் நிறையையும் நீளத்தையும் கணக்கிடுக.

16. 12 அடி நீளமுள்ள நிஸ என்ற சீரானதொரு விட்டத்தின் நிறை 35 பவு. இது இரண்டு தாங்கல்களின்மீது படுக்கைவாக்கிலே நிற்கிறது. இத்தாங்கல்களிலொன்று நி என்ற முனையிலிருந்து 2 அடி தூரத்திலும் மற்றொரு தாங்கல் ஸ என்ற முனையிலிருந்து 3 அடி தூரத்திலும் இருக்கின்றன. நி என்ற முனையிலே 12 பவு. எடையும், ஸ என்ற முனையிலே 8 பவு. எடையும் தொங்குகின்றன- தாங்கல்களின்மீதுள்ள அழுத்தங்களைக் காண்க.

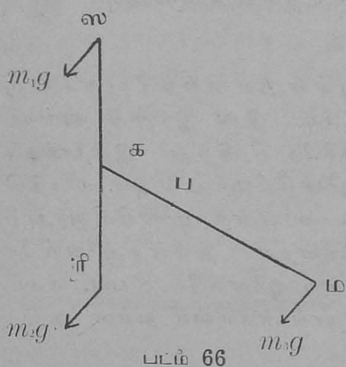
---

# அத்தியாயம் 9



## கவர்ச்சிமையம் (**Centre of Gravity**)

ஒவ்வொரு பதார்த்தத் துகளும் பூமியை நோக்கிக் கவரப்படுகிறது. இக்கவர்ச்சி சக்தி துகளின் நிறைக்கு ஏற்பவுள்ளது. முறையே $m_1$, $m_2$ என்ற நிறைகொண்ட இரண்டு துகள்கள் ஸ, ரி என்ற இடங்களில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இவையிரண்டும் பூமியின் மையத்தை நோக்கிக் கவரப்படுகின்றன. இம்மையத்தின் தூரம் ஸரி-க்கு இடைப்பட்ட தூரத்தைநோக்கமிகப் பெரியதாய் இருப்பதால், இத்துகள்களின் மீது தொழிற்படும் சக்திகளின் திசைகள் இணையாக இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். எனவே முறையே $m_1g$, $m_2g$ என்ற அளவுகள் உள்ள இரண்டு சக்திகளைக் கொண்டவோர் அமைப்பு நமக்குக் கிடைக்கிறது.



படம் 66

ஸரி என்ற கோட்டை கஎன்ற இடத்திலே $m_1g \times$ ஸக $= m_2g \times$ ரிக ஆகும்படியாக இருகூறாகப் பிரிக்கவும். (படம் 66). இந்த இரண்டு சக்திகளின் பயனிலை க-வின் வழியாகச் செல்லும். இவ்விரண்டு துகள்களையும் ஸ$_1$ ரி$_1$ என்னும் வேறேதேனுமொரு நிலைக்கு மாற்றினாலும், ஸரி என்ற தூரம்மட்

டும் மாருமல் இருந்தால், க-வின் நிலை ஸரி-க்களை நோக்க மாறுபடாது. ஆகையால் ஸரி-க்களின் நிலை எதுவாயினும் அவற்றிடைப் பட்ட தூரம் மாறுபடாத வரை, அவற்றின் மீது தொழிற்படும் நிலக் கவர்ச்சியின் சக்தி மட்டும் க-வின் வழியாகவே செல்லும். க-வின் நிலை ஸரி-க்களை நோக்க மாறுபடாது. முறையே $m_1$, $m_2$, $m_3$ என்ற நிறைகள் கொண்ட மூன்று துகள்கள் ஸ, ரி, ம என்ற இடங்களில் நிற்பதாகக் கொள்வோம். ஸரி-க்களின் பயனிலை க-வில் தொழிற்படும். இதன் அளவு $(m_1g + m_2g)$ ஆகும். எனவே இப்பயனிலையும், $m_3g$ என்ற சக்தியும் சேர்ந்த இரண்டு சக்திகளை ஒரு அமைப்பு எனக்கொண்டு, அவற்றின் பயனிலையாகிய $(m_1g + m_2g + m_3g)$ என்ற அளவைக் கொண்டதொரு சக்தியைக் காணலாம். இது ப என்ற இடத்தில் தொழிற்பட்டால் $(m_1 + m_2)\, g \times$ கப $= m_3g \times$ பம என்ற உறவு பொருந்தும். இம்மூன்று துகள்களின் நிலை எதுவாயினும் அவற்றில் ஒன்றுக்கொன்று இடைப்பட்ட தூரம் மாருத வரையில் அவற்றை நோக்க ப-வின் நிலையும் மாறு படாது நிற்கும். இவ்வாறே முன்னேறிச் சென்று பலவேறு துகள்களைக் கொண்டதொரு அமைப்பிலும் அவற்றின் பயனிலைக் கவர்ச்சி எப்போதும் தன் வழிச்செல்லுவதான ஒரு புள்ளியைக் காணலாம்.

இவ்வமைப்பின் நிலை எவ்விதமாக மாறுபட்டாலும் அதனுட்பட்ட பலவேறு துகள்களின் ஒப்பு நிலைகள் மாருதவரையில், இந்தப் பயனிலைப் புள்ளியின் நிலை மட்டும் மற்ற துகள்களின் நிலையை நோக்க மாறுபடாது நிற்கும். ஒவ்வொரு கட்டிப் பொருளையும் நாம் பல வேறு துகள்களின் கூட்டமாகக் கருதலாம். இப்பலவேறு துகள்களின் ஒப்புநிலை கட்டிப் பொருளில் மாறுதலடைவதில்லை. எனவே ஒவ்வொரு கட்டிப்பொரு

ளிலும், அதன் பல வேறு பாகங்களின் எடைச் சக்தி களின் பயனிலே எப்போதும் தன் வழியே செல்லும் ஒரு புள்ளியைக் காணக்கூடும் என்று தெரிகிறது. இதுவே அப்பொருளின் கவர்ச்சிமையம் என்று சொல்லப்படும். ஒரு பொருளின் எடை யென்பது அதன்பல வேறு பாகங்களின் மீது தொழிற்படும் நிலக் கவர்ச்சி சக்திகளின் பயனிலையாகும். ஆகையால் இந்த இலக்கணத்தினின்று ஒரு பொருளின் எடையாகிய சக்தி எப்போதும் கவர்ச்சிமையத்தின் வழியாகவே கீழ் நோக்கிச் செல்லுமென்பது தெரிந்து கொள்ளலாம். ஒரு பொருளுக்கு ஒரே கவர்ச்சி மையந் தான் இருக்கக் கூடும். இதை காட்டும் முறை வருமாறு:

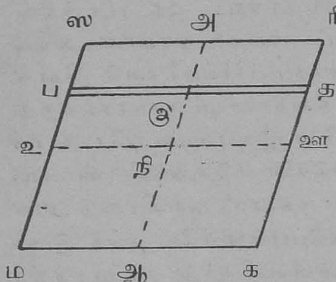
ஒரு பொருளுக்கு $G_1$, $G_2$ என்ற இரண்டு கவர்ச்சி மையங்கள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இப்போது அப்பொருளைப் திருப்பி $G_1$, $G_2$ என்ற கோடு படுக்கை வாக்கிலே நிற்கும்படி செய்யவும். இப்போது நிலக் கவர்ச்சி சக்தி, இலக்கணப்படி $G_1$, $G_2$ என்னும் இரண்டு புள்ளிகளின் வழியாகப் படுக்கை வாக்கிலே தொழிற்படவேண்டும். ஆனால் இச்சக்தி எப்போதும் நிமிர்வைத் திசையிலே தொழிற்படுவதாகும். ஆகவே அது $G_1$, $G_2$ என்னும் இரண்டு புள்ளிகளின் வழியாகவும் ஒரே காலத்தில் செல்லுவது முடியாது. அதாவது $G_1$, $G_2$ என்னும் இரண்டு புள்ளிகளும் கவர்ச்சி மையங்களாக இருக்க வியலாது. கவர்ச்சி மையம் என்பது ஓர் கணக்குப் புள்ளி (mathematical point) யாகும். எனவே இது ஒரு பொருளின் உள்ளே தான் இருக்குமென்ற நியதி இல்லை. ஒரு சீரான வளையத்தின் கவர்ச்சிமையம், அதன் பதார்த்தத்திற்கு வெளியேயுள்ள வடிவியல் மையத்திலேயே நிற்கும்.

சில சாமானிய வடிவுகொண்ட பொருள்களின் கவர்ச்சி மையங்களைக் காண:

1. சீரான தடிப்புக்கொண்ட ஒரு சட்டத்தின் கவர்ச்சிமையம்:—இச் சட்டத்தைச் சமமான அளவு கொண்ட பல துண்டுகளாகப் பிரிப்பதெனக் கொள்வோம். இத்துண்டுகளின் நிறைகளையும் சமமாகக் கருதுவோம். நடுப்புள்ளியிலிருந்து இருபுறமும் ஒரே தூரத்தில் உள்ள இரண்டு துண்டுகளை எடுத்துக்கொண்டால், அவற்றின் நிறைகள் சமமாகையால், அவ்விரண்டு துண்டுகளின் கவர்ச்சி மையம் நடுப்புள்ளியிலே தங்கி இருக்கும். இவ்வாறே நடுப்புள்ளியிலிருந்து சமதூரத்தில் உள்ள எந்த இரண்டு துண்டுகளை எடுத்துக் கொண்டாலும், அவற்றின் கவர்ச்சிமையம் நடுப்புள்ளியின்மீதே தங்கும். இவ்வாறு இரட்டை யிரட்டையாக எடுத்த பின் அச்சட்டத்தில் துண்டுகள் மிகுந்து நிற்பதில்லை. எனவே எல்லாத் துண்டுகளின் பயனிலைக் கவர்ச்சி மையம், அதாவது அச்சட்டத்தின் கவர்ச்சி மையம், அதன் நடுப்புள்ளியேயாகும்.

2. இணைகர வடிவான ஒரு தகட்டின் கவர்ச்சி மையம்:—ஸரிகம என்பது இணைகர வடிவமுள்ள ஒரு சீரான தடிப்புக்கொண்ட தகடு எனக் கொள்வோம். (படம் 67). ஸரி, கம என்னும் சிறைகளை முறையே அ, ஆ என்ற புள்ளிகளிலே இரு சமகூறுக்கி அ, ஆ-க்களைச் சேர்க்கவும். இவ்வாறே ரிக, ஸம என்னும் சிறைகளை முறையே ஊ, உ என்னும் புள்ளிகளிலே இரு சம கூறுகளாக்கி, அவற்றை ஒரு நேர் கோட்டால் சேர்க்கவும். இவ்விரண்டு ஈராரிகளும் (Bisectors) நி என்னுமிடத்தில் சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். நி என்பதே இத்தகட்டின் கவர்ச்சிமையம் ஆகும். இணைகர முழுவதையும் ஸரி என்னும் சிறைக்கு இணையான

மிகக் குறுகிய அகலமுடைய பட்டைகளாக வகுத்து, அவற்றுள் ஒன்றாகிய பத-வை எடுத்துக்கொள்வோம். அஆ என்னும் ஈரரி இதை இ என்ற இடத்தில் சந்தித்து, இப்பட்டையையும் இரு சம கூறுகளாக்கும். எனவே இ என்ற நடுப்புள்ளியே பத என்ற பட்டையின் கவர்ச்சி மையமாகும். ஆகையால் இப்பட்டையின் எடை முழுவதும் இ என்னும் புள்ளியிலேயே குவிந்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம். எனவே இவ்விணைகரத் தகட்டின் எடை முழுவதும், அஆ என்ற கோட்டின் மீதே தங்கி இருப்பதால், அதன் கவர்ச்சிமையமும் அக்கோட்டின்மீதே நிற்க வேண்டும். இவ்வாறே இவ்விணைகரத்தை ரீக என்னும் சிறைக்கு இணையான பல பட்டைகளாகப் பிரித்து, அவற்றின் கவர்ச்சிமையங்களைக் கண்டால், அவையெல்லாம் ஊஉ என்னும் கோட்டின்மீது நிற்பது தெரியவரும். ஆகையால் இணைகரத்தின் கவர்ச்சி மையம் உஊ என்ற நேர்கோட்டின்மீதும் நிற்கவேண்டும். இப்படியாக இவ்விணைகரத் தகட்டின் பயனிலைக் கவர்ச்சிமையம், அஆ, உஊ என்ற இரண்டு நேர்கோடுகளின்மீதும் நிற்பதால், அப்புள்ளி அவ்விரண்டு நேர்கோடுகளும் வெட்டுமிடமாகிய நி-தான் என்பது தெளிவு.

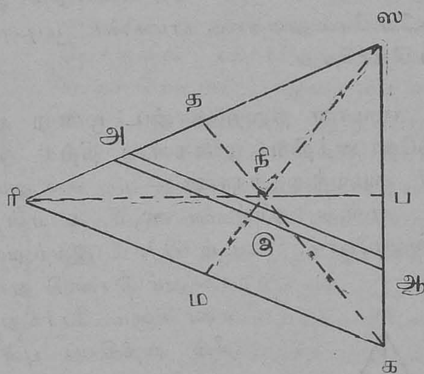


படம் 67

3. ஒரு முக்கோண வடிவான தகட்டின் கவர்ச்சி மையம் :—ஒரு முக்கோண வடிவான தகட்டின் கவர்ச்சி மையம், அக்கோணத்தின் நடுவன்கள் (medians)

கூடுமிடமாகிய சேம்மையமே (Centroid) யாகும். இதைக் காணும் முறை வருமாறு: ஸரிக என்ற ஒரு முக்கோணத்தை எடுத்துக்கொள்வோம்.

இம் முக்கோணத்தை ரிக-வுக்கு இணையான மிகக் குறுகிய அகலங்கொண்ட பட்டைகளாகப் பிரிக்கவும்.



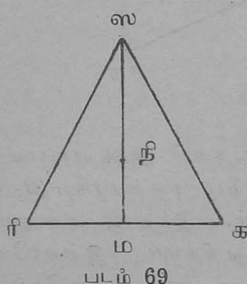

படம் 68

(படம் 68). இவ்வாறுகிய பட்டைகளில் அஆ என்பவற்றின் எடை முழுவதும் அதன் நடுப் புள்ளியாகிய இ-ல் குவிந்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம். இந்த இ என்னும் புள்ளி ஸம என்னும் நடுவன் மீது நிற்கும். இவ்வாறே மற்றைய பட்டைகளின் எடைகளும், ஸம என்ற கோட்டின் மீதுள்ள புள்ளிகளிலேயே குவிந்திருக்கும். எனவே இம்முக்கோணத்தின் கவர்ச்சி மையம் ஸம என்ற நடுவன் மீது நிற்கிறது என்பது தெளிவு. இவ்வாறே இம்முக்கோணத்தகட்டை ஸக என்னும் சிறைக்கு இணையான சிறு பட்டைகளாக வகுத்து, அவற்றின் எடைகள் ரிப என்னும் நடுவன் மீது குவிந்திருப்பதாகக் காட்டலாம். ஆகையால் முக்கோணத்

தகட்டின் கவர்ச்சி மையம், ரிப என்ற நடுவன் மீதும் நிற்கிறது. எனவே இவ்விரண்டு நடுவன்களும் கூடுமிடமாகிய நி என்னும் செம்மையமே (Centroid) இம்முக் கோணத் தகட்டின் கவர்ச்சிமையமாகும் என்பது தெளிவு.

மூன்றாவது நடுவனாகிய கத என்பதும் இப்புள்ளி வழியாகவே செல்லுவதால், நாம்கண்ட முடிவு சரியான தென்று தெரிகிறது.

4. சமமான நிறைகொண்ட மூன்று துகள்கள் ஒரு முக்கோணத்தின் முனைகளில் நிற்க அவற்றின் கவர்ச்சி மையத்தைக்காண :—$m$ என்னும் நிறை கொண்ட மூன்று துகள்களை ஸ, ரி, க என்ற முனைகளில் வைப்போம். (படம் 69). இவற்றுள் ரி, க என்னும் இரண்டு துகள்களின் எடைகளும் சேர்ந்து, அவற்றின் மத்தியப் புள்ளியாகிய ம-வில் குவிந்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம். எனவே ம-விலே $2m$ எடை கொண்டதொரு துகளும், ஸ-வில் $m$ எடை கொண்டதுகளும் நிற்கின்றன. இவற்றின் கவர்ச்சி மையமாகிய நி, ஸம என்ற கோட்டின் மீது நிற்க வேண்டும்.

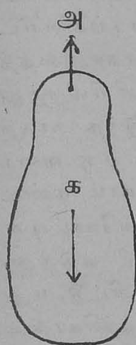


படம் 69

அப்போது $m \times$ ஸநி $= 2m \times$ நிம என்ற நியதி பொருந்தவேண்டும். ஆகையால் ஸநி = 2 நிம; அல்லது ஸநி = $\frac{2}{3}$ ஸம ஆகும். இவ்வாறாகிய புள்ளி இம் முக்கோணத்தின் செம்மையம் என்பதை வடிவியலினால் நாமறிவோம். எனவே ஒரு முக்கோணத் தகட்டின் கவர்ச்சிமையம், அம்முக்கோணத்தின் முனைகளிலே சம

மான நிறையுள்ள மூன்று துகள்களை வைத்ததற்கு ஒப்புமையானது என்பதை நாமறிகிறோம்.

கவர்ச்சி மையமும் தாங்கு நிலையும் (Centre of Gravity and Point of Support):—ஒரு பொருளை அதன் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியிலிருந்து தன் வயமாகத் தொங்க விட்டால், அத்தொங்கு புள்ளியிலிருந்து நிமிர் வையாக இழுக்கப்பட்ட கோடு, அப்பொருளின் கவர்ச்சி மையத்தின் வழியாகச் செல்லும். இதை மிக எளிதாக நிரூபித்து விடலாம். ஒரு பொருள் அ என்னும் புள்ளியிலே ஒரு சரட்டைக் கட்டித் தன்வயமாகத் தொங்க விடப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். (படம் 70). இப்போது அதன்மீது இரண்டு சக்திகள் தொழிற்படுகின்றன. (i) பொருளின் கவர்ச்சி மையத்திலிருந்து நிமிர் வையாகக் கீழ்நோக்கித் தொழிற்படும் அப்பொருளின் எடையாகிய சக்தி. (ii) அ என்னும் புள்ளியிலிருந்து மேல் நோக்கித் தொழிற்படும் சரட்டின் பிகு. ஏதேனுமொரு பொருள் இரண்டு சக்திகள் அதன்மீது தொழிற்படும்போது சம நிலைமையில் இருந்தால், அவ்விரண்டு சக்திகளும் (1) சமமாய் இருக்கவேண்டும் (2) ஒரே நேர் கோட்டில் தொழிற்படவேண்டும் என்பதை நாமறிவோம். எனவே க என்னும் கவர்ச்சிமையத்திலிருந்து கீழ் நோக்கும் பொருளின் எடையும், அ விலிருந்து மேனோக்கித் தொழிற்படும் சரட்டின் பிகுவும் ஒரே நேர் கோட்டில் இருக்கவேண்டும்.



படம் 70

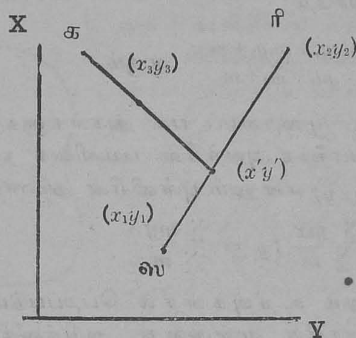
கவர்ச்சி மையத்தைப் பரிசோதனையால் கண்டு பிடித்தல் :—மேலே கண்ட உண்மையைப் பயன் படுத்தித்

தட்டையான பொருள்களின் கவர்ச்சி மையங்களை எளி தில் கண்டு பிடிக்கலாம். இபபொருள்கள் வடிவியல் உருவங்களைக் கொண்டிருந்தால், அவற்றின் கவர்ச்சி மையங்களைக் கணக்கிட்டறிந்து விடலாம். அவ்வாறல் லாமல் அவை ஒழுங்கற்ற வடிவங்களைக் கொண்டிருந் தால் இப்பரிசோதனை முறையைக் கையாளலாம்.

ஏதேனுமொரு தகடு அல்லது அட்டையை எடுத்து அதன் ஓரங்களில் சிறு துவாரங்களையிட வும். அவற்றில் ஒரு துவாரத்தின் மூலமாக அதைத் தொங்கவிடவும். அதே தொங்கு புள்ளியிலிருந்து ஒரு சிறு நாலத்தைத் தொங்கவிடவும். இந்த நாலத் தினது சரடு தகட்டின் மீது படுமிடத்தை ஒரு வரை யினல் குறித்துக் கொள்ளவும். முன்னே நாம் கண்ட ஊகத்தின்படி தகட்டின் கவர்ச்சி மையம் இக்கோட்டின் மீது நிற்க வேண்டும். தகட்டைச் சுழற்றி எடுத்து, மற்றொரு துவாரத்தின் வழியாகத் தொங்கவிட்டு, மறு படியும் நாலச் சரட்டின் வரையைக் குறித்துக்கொள்ள வும். மேலே கண்ட ஊகத்தின் படியே தகட்டின் கவர்ச்சிமையம் இக்கோட்டின் மீதும் நிற்க வேண்டும். எனவே நாம் குறித்துக்கொண்ட இரண்டு வரைகளும் வெட்டுமிடமே தகட்டின் கவர்ச்சி மையமாகும். நாம் கண்டது சரிதானா என்று பார்க்கவேண்டுமானல், மூன் ருவதொரு துவாரம் வழியாகத் தொங்க விட்டு, இப் போதும் நாலச் சரட்டின் வரை அதே புள்ளியின் வழி யாகச் செல்லுகிறதா என்று பார்த்தால் போதுமானது.

நிறைமையம் (Centre of Mass) :—முறையே $m_1, m_2, m_3$ என்ற நிறைகள் கொண்ட ஸ, ரி, க என் னும் மூன்று துகள்களின் நிலை ஆயங்கள் XOY என் னும் ஏதேனுமொரு துணையாய அமைப்பிலே (Coordinate system) கூறுங்கால், அவை முறையே $(x\,y_1)$ $(x_2y_2)$ $(x_3y_3)$ என்று கொள்வோம். (படம் 71).

ஸரீ-க்களின் கவர்ச்சி மையம் ஸரீ-யை $m_1 : m_2$ என்னும் தகவிலே பிரிக்கும். ஆகையால் அதன் ஆயங்




படம் 71

கள் $x'y'$ ஆயின், $\frac{x' - x_1}{x_2 - x'} = \frac{m_2}{m_1}$ என்னும் உறவு பொருந்தும். $m_1 x' - m_1 x_1 = m_2 x_2 - m_2 x'$

அல்லது $(m_1 + m_2)\, x' = x_2 m_2 + m_1 x_1$

அல்லது $x' = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$.

இவ்வாறே மற்றொரு ஆயமாகிய $y' = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2}{m_1 + m_2}$ ஆகும்.

இவற்றோடு மூன்றாவது துகளாகிய $m_3$ யையும் சேர்த்தால், அதன் கவர்ச்சி மையம், க-வையும் $x'y'$ என்பவற்றைச் சேர்க்கும் கோட்டை $(m_1 + m_2) : m_3$ என்னும் தகவிலே பிரிக்கும். எனவே இப்பயனிலைக் கவர்ச்சி மையத்தின் துணையாயங்கள்

$\bar{x}$, $\bar{y}$ ஆனால் $\frac{\bar{x} - x_3}{x' - \bar{x}} = \frac{m_1 + m_2}{m_3}$

அல்லது $\bar{x} = \dfrac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$ ஆகும்.

இவ்வாறே

$\bar{y} = \dfrac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$ ஆகும்.

இதே முறையைப் பல துகள்களுக்கும் விவரித்துப் பிரயோகிக்க அவற்றின் பயனிலைக் கவர்ச்சி மையமாகிய $G\ (\bar{x}\ \bar{y})$ என்னும் புள்ளியின் துணையாயங்கள்

$$\bar{x} = \frac{\sum mx}{\sum m}\ ;\ \bar{y} = \frac{\sum my}{\sum m}$$

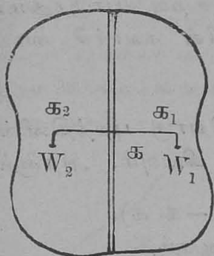
என்னும் உறவுகளால் பெறப்படும். கட்டிப் பொருள்களாயின் மூன்ருவது ஆயத்தையும் உடன் கூட்டி

$\bar{z} = \dfrac{\sum mz}{\sum m}$ என்று கூறலாம்.

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ என்னும் ராசிகளைக் கூறும் இணைவுகளிலே நாம் துகள்களின் நிலைகளையும் அவற்றின் நிறைகளையும் மட்டுமே கையாண்டோம். அவற்றின் எடையைப் பற்றி யொன்றும் கூறவில்லை. எனவே நிலக் கவர்ச்சியே அழிந்துபோய்விட்டாலும் $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ என்னும் ஆயங்களைக் கணக்கிட்டு அவை குறிப்பிடும் புள்ளியைக் காணலாம். இத்தகைய புள்ளி பொருளின் ஓர் உடைமை. அது நிலக் கவர்ச்சியைச் சார்ந்திருக்கவில்லை. எனவே இத்தகைய புள்ளியே 'நிறைமையம்' எனப்படும்.

கவர்ச்சி மையத்தைப்பபற்றிய இரண்டு ஊகங்கள் :—ஒரு பொருளினது இரண்டு வெவ்வேறு பகுதிகளின் தனித்தனி கவர்ச்சி மையங்கள் தெரிந்திருந்தால், அம்முழுப்பொருளின் கவர்ச்சி மையத்தைக் கண்டு விடலாம்.

1. $W_1$, $W_2$ என்பன முறையே ஒரு பொருளின் வெவ்வேறு இரண்டு பகுதிகளின் எடைகள் என்றும், அவற்றின் கவர்ச்சி மையங்கள் முறையே $க_1$, $க_2$ என்றும் கொள்வோம். (படம் 72). $க_1$, $க_2$ க்களை ஒரு நேர்கோட்டினலே சேர்த்து அக்கோட்டை க என்ற இடத்திலே இரண்டாகப் பிரிக்கவும். இவ்வாறு பிரிக்கும் போது $W_1 \times கக_1 = W_2 \times கக_2$ என்ற உறவுபொருந்துமானல், க என்பது இம் முழுப் பொருளின் கவர்ச்சிமையமாகும், இதற்குரிய சான்று மிக எளிதாகும். அது நிற்க, மேற்கண்ட உறவில் ஒவ்வொரு புறத்திலும் $W_1$ $கக_2$ என்பதைக் கூட்டவும். கூட்டினல்




படம் 72

$$W_1 (கக_1 + கக_2) = (W_1 + W_2)\, கக_2 \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{எனவே } கக_2 = W_1 \frac{(க_1\ க_2)}{W_1 + W_2}$$

$$\text{இவ்வாறே } கக_1 = W_2 \frac{(க_1\ க_2)}{W_1 + W_2}$$

2. ஒரு முழுப்பொருளின் கவர்ச்சி மையமும் அதன் ஒரு பகுதியின் கவர்ச்சி மையமும் கொண்டு அதன் எஞ்சிய பகுதியின் கவர்ச்சி மையம் காண :— முழுப்பொருளின் எடை W என்றும், அதன் கவர்ச்சி மையம் க என்றும் கொள்வோம். $W_1$ என்பது அதில் ஒரு பகுதி யென்றும், அதன் கவர்ச்சி மையம் $க_1$ என்றும் கொள்வோம். மற்ருெரு பகுதியின் கவர்ச்சி மையமாகிய $க_2$ வைக் காணவேண்டும்.

$க_1$ க என்ற நேர்கோட்டைச் சேர்த்து (படம் 72) அதைப் பின்னும் நீட்டி விடவும். அதன் மீது $க_2$ என்ற புள்ளியொன்றைக் காணவும்.

$W \times க_2$ க $= W_1 \times க_2 க_1$ என்ற உறவு பொருந்துமானல் $க_2$ என்பதே மற்ருெரு பகுதியின் கவர்ச்சி மையமாகும்.

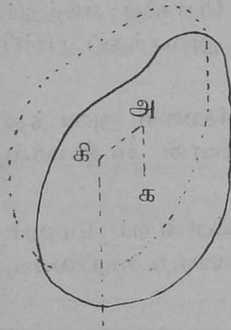
மேலே கண்ட உறவிலே ஒவ்வொரு புறத்தினின்றும் க $க_2 \times W_1$ என்றதைக் கழித்து விடவும். அதனுல்

$$(W - W_1)\, க_2\, க = W_1\, (க_2\, க_1 - க_2\, க)$$
$$= W_1 \times க_1\, க \text{ ஆகும்.}$$

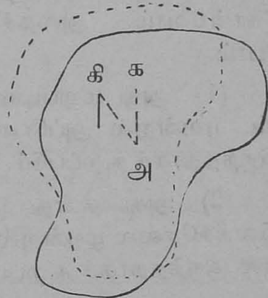
எனவே க என்பது $க_1$ என்ற இடத்தில் தொழிற்படும் $W_1$ என்ற எடைக்கும் $க_2$ என்ற இடத்திலே தொழிற்படும் $(W - W_1)$ என்ற எடைக்கும் கவர்ச்சி மையமாகும். ஆனுல் $(W - W_1)$ என்பது அப்பொருளின் எஞ்சி நின்ற இரண்டாவது பகுதியின் எடையாகும். ஆகையால் $க_2$ என்பது அந்தப் பகுதியின் கவர்ச்சி மையமாகும்.

சமநிலைமைகளின் நிலைப்பேறு (Stability of Equilibrium):—ஒரே புள்ளியில் தாங்கப்பட்டு நிற்கும் ஏதேனுமொரு பொருளை கவனிப்போம். (படம் 73). உதாரணமாக அ-வின் வழியாகச் செல்லும் ஒரு படுகை இருசைச் சுற்றிச் சுழலக் கூடியதான ஒரு தகட்டை எடுத்துக் கொள்வோம். இத்தகடு சம நிலைமையில் நிற்கவேண்டுமானுல் ஒரே ஒரு நிபந்தனை பூர்த்தியடைந்தால் போதுமானது. அதாவது அக என்றகோடு நிமிர்வையாக நிற்கவேண்டும். இது இரண்டு வழிகளிலே நிகழக் கூடும். க என்னும் கவர்ச்சி மையம் அ-விற்கு நிமிர்வையாக அதன் மேலேயாவது அல்லது

மேலேயாவது இருக்கலாம். இந்த இரண்டு வழிகளிலும் இத்தகடு சமநிலையில் இருந்தே தீரும். இப்போது நாம் இத்தகட்டைச் சிறிதே அசைத்து க என்னும் புள்ளி கி என்னும் நிலையை அடையுமாறு செய்வோம். (படம் 73 (1)). கி என்னும் இடத்தில் தொழிற்படும் சக்தியினால் அ-வைச் சுற்றி ஒரு திருப்பியல் ஏற்படுகிறது. இது க-வை மறுபடியும் தன்னிலைக்குக் கொண்டுவர



படம் 73 (1)



படம் 73 (2)

முயல்கிறது. எனவே தகடு மறுபடியும் விரைவிலே தன்னிலையை அடைந்து சமநிலையில் நின்றுவிடும். இரண்டாவது படத்தில் (படம் 73 (2)) அ-வைச் சுற்றித் தொழிற்படும் தகட்டின் எடையினது திருப்பியல் க-வைப் பின்னும் கீழே இழுத்து அதை முன்னைய நிலையினின்றும் விலக்க முயல்கிறது. எனவே தகடு தன் முன்னிலையை அடையாமல் விலகிச் சென்றுவிடுகிறது. இவ்விரண்டு வகையான சமநிலைமைகளில், முன்னையது நிலையான சமநிலைமை என்றும், பின்னையது நிலையற்ற சமநிலைமை என்றும் கூறப்படும். இவ்விரண்டுமல்லாத மூன்றுவதொரு வகையிலும் சமநிலைமை ஏற்படலாம். அ என்ற தாங்கு புள்ளி க என்ற

கவர்ச்சிமையத்தோடு ஒன்றிவிடுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது அ-வைச்சுற்றி ஏற்படும் தகட்டினது எடையின் திருப்பியல் எப்போதும் சூனியமாகும். எனவே தகட்டை எவ்வாறு திருப்பி வைத்தாலும் அது அந்த நிலையிலேயே நிற்கும். இவ்வாறு நிற்கும் நிலைமைக்கு அலிச்சமநிலைமை என்று பெயர். இவற்றையெல்லாம் தொகுத்துரைப்போம்.

சமநிலைமையில் நிற்கும் ஒரு பொருளை எடுத்துக் கொள்வோம். அதைச் சிறிது அசைத்துப் பார்ப்போம்.

(1) அது மறுபடியும் தன்னிலையை அடைந்து விட முயன்றால் அப்பொருள் நிலையான சமநிலையில் இருந்ததாகக் கூறப்படும்.

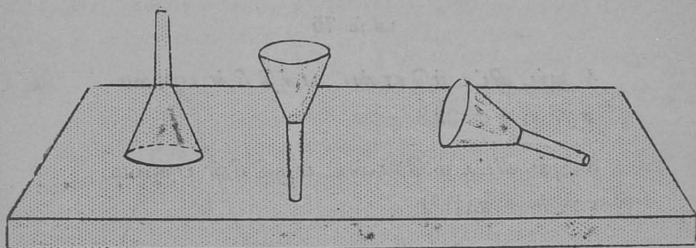
(2) அது தனது முன்னிலையினின்றும் மேலும் விலகிச்செல்ல முயன்றால் அது நிலையற்ற சமநிலைமையில் இருந்ததாகக் கூறப்படும்.

(3) அது தனது புதிய நிலையே சமநிலைமையாகக் கொண்டு நின்றுவிட்டால் அது அலிச்சமநிலைமையில் இருந்ததாகக் கூறப்படும்.

இவற்றை மற்றொரு முறையிலும் கூறலாம். சமநிலைமையில் நின்றதொரு பொருளைச் சிறிது அசைத்த போது அதன் கவர்ச்சிமையம் மேலே எழுந்தால் அது நிலையான சமநிலைமையாகும்; கவர்ச்சிமையம் கீழே தாழ்ந்தால் அது நிலையற்ற சமநிலைமையாகும்; கவர்ச்சிமையம் மேலே எழாமலும் கீழே தாழாமலும் ஒரே உயரத்தில் நின்றால் அது அலிச்சம நிலைமையாகும்.

ஒரு புனலைக் கவிழ்த்து நிற்கவைத்தால் அது நிலையான சமநிலைமைக்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாகும். இதைச் சிறிது அசைத்துவிட்டாலும் பிறகு எளிதிலே

தன்னிலையை அடைந்துவிடும். புனலை அதன் காம்பின்மீது நிறுத்திவைத்தால் அது நிலையற்ற சமநிலைமைக்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாகும். இதைச் சிறிது அசைத்துவிட்டாலும், அது எளிதில் கீழே விழுந்துவிடுமேயன்றி தன்னிலையை அடையாது. (படம் 74). புனலைப் படுக்க வைத்தால் அது அலிச்சமநிலைமைக்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாகும். இதை நாம் எவ்வாறு வைத்தாலும் அது தனது புது நிலையே சமநிலைமையாகக் கொண்டு நிற்கும்.

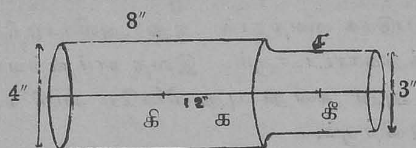


படம் 74

அடிவாரம் (Base of support) :—ஒரு பொருளின் அடிவாரமென்பது அப்பொருள் பீடத்தைத் தொடும் முனைகளைச் சூழ்ந்து வரையப்பட்ட ஒரு கோட்டை எல்லையாகவுடைய ஒரு தளவடிவம். ஒரு பொருள் சமநிலைமையில் நிற்கும்போது, அதன் கவர்ச்சிமையத்தினின்று நிமிர்வையாகக் கீழ்நோக்கிச் செல்லும் ஓர் நேர்கோடு அதன் அடிவாரத்தினுள் புகுந்து செல்லும். இதனைத் தஞ்சாவூர்ப் பொம்மையிடமுங் காணலாம். இக்கோடு அடிவாரத்தின் எல்லைவரையைத் தாண்டிவிட்டால் அப்பொருள் தனது நிலைபேற்றை இழந்து விழுந்துவிடும்.

உதாரணம் 1 :—12 அங். நீளமுள்ள மரக்கட்டை யுருளையிலே, 8 அங். நீளம் வரை 4 அங். விட்டமும், மிகுந்த பகுதி 3 அங். விட்டமும் கொண்டிருந்தால், அதன் கவர்ச்சி மையம் எங்கே நிற்கும்.

(சென்னை 1928 செப்.)




படம் 75

4 அங். விட்டம்கொண்ட பகுதியின் பருமை

$\pi \gamma_1^2 h_1 = \pi. 2.^2 8$

3 அங். விட்டம் கொண்ட பகுதியின் பருமை

$\pi \gamma_2^2 h_2 = \pi.(\frac{3}{2}).^2 4$

கட்டையின் செறிவு சீரானதாகையால் இப்பகுதிகளின் நிறைகள் அவற்றின் பருமைகளுக்கு ஏற்ப நேராக இருக்கும் என்று கொள்ளலாம். நிறைகள் $W_1$, $W_2$ என்று கொண்டால்

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\pi \times 2^2 \times 8}{\pi \times (\frac{3}{2})^2 \times 4} = \frac{32}{9}$$

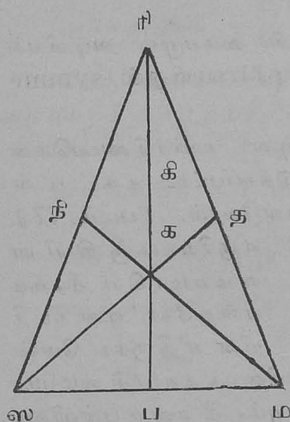
பெரும் பகுதியின் கவர்ச்சி மையம் கி என்றும், சிறு பகுதியின் கவர்ச்சி மையம் கீ என்றும், பொதுக் கவர்ச்சி மையம் க என்றும் கொண்டால், கி கீ என்ற கோடு க-வில் 32 : 9 என்ற தகவிலே பிரியும்.

கி கீ = 6″

$$\text{எனவே கிக} = \frac{6 \times 9}{32} = 1\frac{11}{16}''$$

ஆகவே இக்கட்டையின் கவர்ச்சி மையம் பெரும் பகுதியின் முனையிலிருந்து $\left(4+1\frac{11}{16}\right) = 5\frac{11''}{16}$ விலகி இருக்கும்

உதாரணம் 2:—ஒரு இருசம முக்கோணத்தின் சிறைகள் 8 அடி நீளமும் அதன் பீடம் 5 அடி நீளமும் உள்ளன. இதன் கவர்ச்சி மையத்தைக் காண்க. இம் முக்கோணத்தின் எடை 5 பவு. ஒரு 10 பவு. எடை இதன் அக்கிரத்திலிருந்து (Vertex) தொங்கவிடப்பட்டது. கவர்ச்சி மையத்தின் புதிய நிலை யாதாகும்?




படம் 76

(படம் 76) முக்கோணத்தின் கவர்ச்சிமையம் அதன் நடுவன்கள் கூடுமிடமாகிய க ஆகும்.

க-வின் நிலையைத் தரும் உறவு வருமாறு:

ரிக $= \frac{2}{3}$ரிப

நிற்க ரிப$^2$ = ரிஸ$^2$ — ஸப$^2$

$= (8)^2 - (2\frac{1}{2})^2$

ரிப $= \sqrt{(8^2) - (2\frac{1}{2})^2}$

$= 7{\cdot}5$ தோராயமாக.

$\therefore$ ரிக $= \frac{2}{3}$ ரிப

$= \frac{7{\cdot}5 \times 2}{3} = 5''$

இம்முக்கோணத்தின் எடை 5 பவு க-விலே தொழிற்படுகிறது. ரி-யிலே ஒரு 10 பவுண்டு எடையை இட்டால் கவர்ச்சி மையம் கி என்ற புதிய நிலையை அடைவதாகக் கொள்வோம்.

இப்போது கியின் நிலையைக் காணுவதற்கான உறவு

10. ரிகி = 5.ககி

ரிகி = $\frac{1}{2}$ ககி

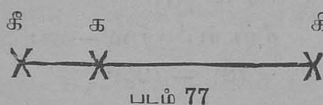
= $\frac{1}{3}$ ரிக = $\frac{1}{3}$ × 5 அடி

= 1 ′ 8 ″ = 1 அடி 8 அங்.

உதாரணம் 3 :—4 அங். ஆரமுள்ள வட்டமான தகட்டிலிருந்து ஒரு அங். ஆரமுள்ளதொரு வட்டத் தகடு கத்தரித் தெடுக்கப்பட்டது. எஞ்சிய பகுதியின் கவர்ச்சி மையம் துவாரத்தின் பரிதியின் மீது நிற்கிறது. இவ்விரு வட்டங்களின் மையங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

இவ்வட்டங்களின் கவர்ச்சி மையமும் வடிவியல் மையமும் ஒன்றே யென்பது சமசீர்மையினுல் (symmetry) எளிதில் பெறப்படும்

க என்பது முழுத்தகட்டின் கவர்ச்சிமையமென்றும், கி என்பது வெட்டியெடுக்கப்பட்ட தகட்டின் கவர்ச்சி மையமென்றும் கொள்வோம். (படம் 77).



படம் 77

எஞ்சிய பகுதியின் மையமாகிய கீ, கிக என்ற கோட்டின் நீட்சியின் மீதிருக்க வேண்டும். ஏனெனில் கீ என்ற புள்ளியைக் கவர்ச்சி மையமாகக்கொண்ட எஞ்சிய பகுதியையும், கி என்ற புள்ளியை கவர்ச்சிமையமாகக் கொண்ட சிறு வட்டத்தையும் சேர்த்தால் முழு வட்டம் கிடைக்கும். எனவே இம் முழு வட்டத்தின் பயனிலைமையம் கீ, கி-க்களினிடைப்பட்டு நிற்கவேண்டி இருக்கிறது.

தகட்டின் பரப்புச் செறிவு $\rho$ என்று கொள்வோம்.

க-விலே தொழிற்படும் முழுத் தகட்டின் எடை

$= \pi \gamma_1^2 \rho = \pi \cdot 4^2 \cdot \rho$.

கி-யிலே தொழிற்படும் சிறுவட்டத்தின் எடை

$= \pi \gamma_2^2 \rho = \pi \cdot {}_1^2 \cdot \rho \cdot$

$\therefore$ கீ-யிலே தொழிற்படும் எஞ்சிய பகுதியின் எடை

$= \pi \cdot 4^2 \cdot \rho - \pi \cdot {}_1^2 \cdot \rho$

$= 15 \pi \rho \cdot$

க-வைச் சுற்றி மற்றிரு எடைகளின் திருப்பியல்கள் சமமாகவேண்டும்.

எனவே $15 \pi \rho$.ககீ $= \pi \rho$.ககி.

$$\frac{\text{ககீ}}{\text{ககி}} = \frac{1}{15} \therefore \frac{\text{ககீ} + \text{ககி}}{\text{ககி}} = \frac{\text{கிகீ}}{\text{ககி}} = \frac{16}{15}$$

அல்லது ககி $= \frac{15}{16}$ கிகீ

நிற்க, கணக்கின்படி கி என்பது துவாரத்தின் மையம்; கீ என்பது பரிதியின் மீதுள்ள புள்ளி. இவற்றினிடைத்தூரமோ 1 அங்.

எனவே கிகீ $= 1$ அங்.

ஆகவே ககி $= \frac{15}{16}$ கிகீ $= \frac{15}{16}$ அங்.

வட்டங்களின் மையங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரம்

$\frac{15}{16}$ அங்.

## வினுக்கள்

1. 'கவர்ச்சி மையம்' என்பதற்கு வரை விலக்கணம் கூறுக. ஒரு தட்டையான தகட்டின் கவர்ச்சி மையத்தைக் காண்பதற்கான தொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

ஒரு மீட்டர் அளவியின் ஒரு முனையிலே 15 கிராம் எடையைக் கட்டித் தொங்கவிட்டு, இந்த அளவியின் மையத்திலிருந்து 6 செ. மீ. தள்ளி அதைத்தாங்கிய போது, அந்த அளவி படுகை மட்டத்திலே நின்றது. அந்த அளவியின் எடையாது.

(சென்னை 1927 செப்)

2. 'கவர்ச்சி மையத்தி'ற்கு வரை விலக்கணம் கூறுக. ஒரு சமதளமான தகட்டின் கவர்ச்சி மையத்தைக் காணும் முறையை விளக்குக.

ஒன்றுக் கொன்று 15 செ. மீ. விலகி ஒரே நேர் கோட்டில் முறையே நிற்கும் 20, 30, 40, 50, 60 கிராம் எடைகளின் கவர்ச்சி மையத்தின் நிலையைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

(சென்னை 1924 செப்).

3. 4 அடி நீளமுள்ள சீரான மெல்லியதொரு கம்பி மூன்று துண்டுகளாக நறுக்கப்பட்டது. இத் துண்டுகளின் நீளம் முறையே 20 அங்., 16 அங்., 12 அங். ஆகும். இவற்றின் முனைகளெல்லாம் ஒன்று கூடி இருக்கும்படியாக இவை சேர்த்துக் கட்டப்பட்டன. இவ்வாறு கட்டிய கட்டின் துலைப்படு நிலையைக் காண்க.

4. சீரான கனமுள்ள தொரு முக்கோண வடிவத் தட்டின் கவர்ச்சி மையம், அம் முக்கோணத்தின் நடுவன்கள் சந்திக்கும் புள்ளியிலே நிற்குமென்று காட்டுக.

ஸரிம என்னும் இருசம முக்கோண வடிவமான ஒரு தகட்டின் நிறை 5-பவு. ஸரி, ஸம, என்னும் சம மான சிறைகளின் நீளம் 5 அடி. ரிம என்ற சிறையின் நீளம் 6 அடி. இத்தகட்டின் கவர்ச்சி மையத்தைக் காண்க.

ஸ, ரி, ம என்ற முனைகளில் முறையே 4, 6, 6, பவு. கொண்ட எடைகள் வைக்கப்பட்டால் கவர்ச்சி மையம் எவ்விடத்திற்கு மாறும்.

(சென்னை 1926 செப்.)

5. 4 அங். ஆரமுள்ளதொரு வட்டமான தகட்டி லிருந்து $1\frac{1}{2}$ அங். ஆரமுள்ளதொரு வட்டமான பகுதி கத்தரிக்கப் பட்டுவிட்டது. இவ்விரு வட்டங்களின் மையங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரம் $2\frac{1}{2}$ அங். எஞ்சிய பகு தியின் கவர்ச்சி மையத்தின் நிலையைக் காண்க.

6. ஒரு பொருளின் சமநிலைமை நிலையானது, நிலையற்றது அல்லது அலித்தன்மை வாய்ந்தது என்ப தன் பொருளென்ன? ஒரு சீரான கனமுள்ள வட்ட மான தட்டின் ஆரம் 12 செ. மீ AB என்பது அதன் ஒரு விட்டம். O என்பது மையம். இதிலிருந்து AO வை விட்டமாகக் கொண்ட வட்ட வடிவுகொண்ட ஒரு துண்டு வெட்டி எடுக்கப்படுகிறது. இத்துண்டின் விட் டம் BO வின்மீது படியும்படி வைக்கப்படுகிறது. இப் போதுள்ள கவர்ச்சி மையத்தின் நிலையாது?

(சென்னை மார்ச்சு 1933)

7. கவர்ச்சி மையம்' என்பதற்கு வரைவிலக் கணம் கூறுக.

ஒரு முக்கோணத்தின் மூன்று முனைகளிலும் வைக் கப்பட்டிருக்கும் சமமான 3 நிறைகளின் கவர்ச்சி மையத்தைக் காண்க.

சீரான கனமுள்ளதொரு வட்ட வடிவான தகட்டின் ஆரம் 10 செ. மீ. ஆகும். இதன் மையத்திலிருந்து 2 செ. மீ. ஒதுங்கிய மையத்தை யுடையதும் 6 செ. மீ. ஆரமுடையதுமான ஒரு வட்டத்தகடு இதிலிருந்து வெட்டி யெடுக்கப்பட்டுவிட்டது. மிகுந்துள்ள தகட்டின் கவர்ச்சி மையத்தைக் காண்க.

(மைசூர் 1933)

---

# அத்தியாயம் 10



## சாமானிய இயந்திரங்கள் (Simple Machines)

இயந்திரங்கள் :— ஓரிடத்திலே பிரயோகிக்கப் பட்ட ஒரு சக்தி மற்றோரிடத்தில் திசையும் அளவும் வேறுபட்டு வெளிப்படும்படிச் செய்யுமொரு சாதனமே இயந்திரம் எனப்படும். நீராவியந்திரம், இறைவி கிறைவிகள், சுமை தூக்கிகள் (Cranes) முதலியன இயந்திரங்களுக்கு உதாரணங்களாகும். ஆனல் இவற்றி லுள்ள ஒவ்வொரு உறுப்பும் தனித்தனியே இயந்திரத் தின் இலக்கணமுடையதாகும். இவற்றைப் பலவேறு பிரிவுகளாக வகுக்கலாகும். இவ்வாருகிய தனித்தனி உறுப்பும் ஒரு சாமானிய இயந்திரம் எனப்படும். ஓரி டத்தில் தொழிற்படும் சக்தியை மற்றோரிடத்தில் தொழிற்படும் வேரொரு சக்தியால் மீறித் தொழிற் செய்வதே இயந்திரத்தைக் கையாளுவதன் நோக்கமா கும். இநதச் சாமானிய இயந்திரங்களைப்பற்றி நாம் ஆராயும்போது அவையெல்லாம் சமநிலைமையில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இதில் முரண்பட்ட இருசக்திகளும் ஒன்ருேடொன்று சமநிலைமையில் நிற் கும். நாம் பிரயோகிக்கும் சக்தியைப் பிரயோக சக்தி அல்லது விசை என்போம். இது எச்சக்தியை மீறித் தொழில் புரிகிறதோ அச்சக்தியை எடை அல்லது தடை என்போம். இங்கு விசையென்று கூறப்பட்ட பொருளும் இயக்கவியலில் இதே பெயரால் குறிக்கப் பட்ட பொருளும் வேருகும் என்பதை நினைவு கூற வேண்டும்.

நாம் இயந்திரங்களை உபயோகிக்கும் போதெல்லாம் பிரயோக சக்தி தொழிற்படும் புள்ளியும், தடைச்

சக்தி தொழிற்படும் புள்ளியும், சிறிது தூரம் நகர்ந்தே தீரும். எனவே பிரயோக சக்தி ஓரளவு வேலையைச் செய்கிறது. இவ்வாறே தடைச் சக்தியை எதிர்த்து ஓரளவு வேலை செய்யப்படுகிறது. விசை இயந்திரத்தின் மீது பிரயோகிக்கப்படுகிறது. எனவே அது ஓரளவு வேலையை இயந்திரத்தினுள் செலுத்துகிறது. இவ்வாறு இயந்திரத்தினுள் இடப்பட்ட வேலையானது தடைச் சக்தியை எதிர்த்துச் செய்யப்படும் வேலையாக இயந்திரத்தினின்றும் வெளிப்படுகிறது. எவ்விதத் தேய்வும் சிக்கலும் இல்லாத ஒரு இலட்சிய இயந்திரத்திலே, "ஆற்றலின் அழிவின்மை" விதியால், அதனுள் இடப்பட்ட வேலையும், அதனின்றும் வெளிப்பட்ட வேலையும் சமமாக இருக்கவேண்டும். இதையே இயந்திரத்தின் 'வேலைத்தத்துவம்' (Principle of work) என்பார்கள். ஒரு இயந்திரத்திலே முரணி நின்ற சக்திகள் முறையே P, W என்றும், இது வேலை செய்யப்பட்டபோது P என்னும் சக்தி நகர்ந்த தூரம் $p$ என்றும், W என்னும் சக்தி நகர்ந்த தூரம் $w$ என்றும் கொண்டால், இவை செய்த வேலைகள் சமமாக இருக்கவேண்டும். அதாவது $Pp = Ww$ ஆகும். அல்லது $\frac{P}{W} = \frac{w}{p}$. இதிலிருந்து ஒரு சிறிய சக்தி மற்றொரு பெரிய சக்தியை எதிர்த்துத் தொழிற்பட வேண்டுமானால், தடைச் சக்தி சிறிது தூரம் நகருவதற்குள்ளாக பிரயோக சக்தி நெடுந்தூரம் நகரவேண்டியிருக்கும். இதையே "விசையில் கண்ட லாபம் வேகத்தில் குறைந்துவிட்டது" என்று நாடோடியாகச் சொல்வதுண்டு. விசையும் தடையுமாகிய இரண்டு சக்திகள் ஒரு இயந்திரத்திலே தொழிற்பட்டு சம நிலைமையில் நிற்கும்போது, தடைக்கும் விசைக்கும் உள்ள தகவு 'இயந்திர சாதகம்' (Mechanical advantage)

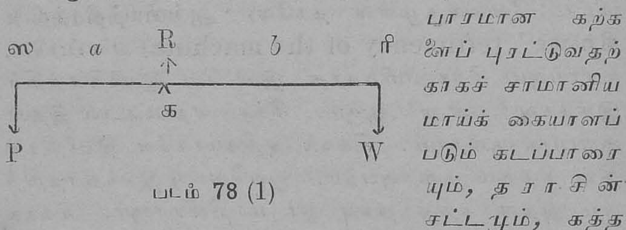
எனப்படும். $\frac{p}{w}$ என்னும் பின்னம் 'கதித்தகவு' (Velocity ratio) எனப்படும்.

உராய்வு, சிக்கல் ஆகிய வற்றையும் உடன் கூட்டிக் கணக்கிட்டால் விசைக்கும் தடைக்குமுள்ள சம்பந்தம் மாறுபடும். சிக்கல் சக்திகள் தடைச் சக்தியோடு உடன் கூடுவதால் விசை அதிகமாக வேண்டிவரும். அதாவது நாம் பிரயோகித்த சக்தி செய்யும் வேலையில் ஓரளவு சிக்கலை எதிர்த்து இயக்கத்தை உண்டாக்குவதில் செலவழிக்கப்பட்டு விடுகிறது. எனவே நாம் இயந்திரத்தில் இட்ட வேலையைவிட அது செய்யும் வேலை எப்போதும் குறைவாகவே இருக்கும். இயந்திரம செய்த வேலைக்கும் அதற்காக நாம் அதனுள்ளிட்ட வேலைக்குமுள்ள தகவே, 'அவ்வியந்திரத்தின் திறமை' (efficiency of the machine) எனப்படும். உராய்வும் சிக்கலுமில்லாத இலட்சிய இயந்திரத்தில் இத்தகவு 'ஒன்று' ஆகும். சிக்கல் எற்பட்டால் இதன் மதிப்புக் குறையும். சிக்கல் அதிகமாகவே இயந்திரத்தின் திறமை குறைவுபடும். ஒவ்வொரு இயந்திரத்திற்கும் அதன் கதித் தகவு ஓர் மாறிலியாகும். சிக்கல் இல்லாதபோது அது இயந்திர சாதகத்திற்குச் சமமாகும். சிக்கலுண்டாவதால் இயந்திர சாதகம் குறைவுபடுகிறது என்று நாம் கண்டோம். எனவே, சாமானியமாக எப்போதும் இயந்திர சாதகம் கதித் தகவைவிடக் குறைவாகவே இருக்கும்.

நெம்பு கோல் (Lever) :—நெம்புகோல் என்பது ஒரு விறைப்புச் சட்டமாகும். இது தனக்குக் குறுக்கே செல்லும் ஒரு இருசைச் சுற்றிச் சுழலும. இவ்விருசுக்குச் 'சுழலகம்' (fulcrum) என்று பெயர். நெம்பு கோல் நேராகவும் இருக்கலாம்; வளைந்தும் இருக்கலாம். நாம் நேரான நெம்புகோல்களைப்பற்றியே பேசுவோம்.

மற்றும் விசையும் எடையும், ஒன்றுக்கொன்று இணையாக, நெம்பு கோலுக்கு லம்பமான திசையில் தொழிற்படுவதாகவே கொள்வோம். சுழலகத்திற்கும், எடை, விசைகளின் தொழிற்படு புள்ளிகளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரங்களை நெம்புகோலின் கைகள், சிறைகள், அல்லது புஜங்கள் என்போம். சுழலகத்தின் நிலைக்கும் எடை, விசைகளின் தொழிற்படு புள்ளிகளின் நிலைகளுக்கும் உள்ள உறவை ஒட்டி, நெம்புகோல்களை மூன்று வகுப்புகளாகப் பிரிப்பது வழக்கம்.

வகுப்பு 1:—பிரயோக சக்தியும் தடைச் சக்தியும் தொழிற்படும் புள்ளிகள் இருபுறமும் இருக்க சுழலகம் இவற்றினிடையே நிற்கும்; இவ்வகையான நெம்பு கோல்கள் முதல் வகுப்பைச் சேர்ந்தவை. (படம் 78 (1)).



படம் 78 (1)

பாரமான கற்களைப் புரட்டுவதற்காகச் சாமானியமாய்க் கையாளப்படும் கடப்பாரையும், தராசின் சட்டமும், கத்தரிக்கோலும் இம்முதல் வகுப்பு நெம்புகோலுக்கு உதாரணங்களாகும். க என்னும் சுழலகத்தின் மீது இறுக்கும் சக்தி R என்றும், கஸ, கரி என்னும் சிறைகளின் நீளங்கள் முறையே $a$, $b$ என்றும் கொண்டால், சமநிலைமைக்கான நிபந்தனைகள் வருமாறு:

$$(1)\ R = P + W \quad (2)\ P \times \text{கஸ} = W \times \text{கரி}$$

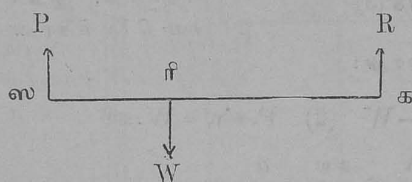
$$\text{ஆகையால்}\quad \frac{W}{P} = \frac{\text{கஸ}}{\text{கரி}} = \frac{a}{b}$$

இதிலிருந்து இவ்வகுப்பைச் சேர்ந்த நெம்பு கோல்களின் இயந்திர சாதகம்

(1) விசைச்சிறை எடைச் சிறையைவிடப் பெரிதானால் ஒன்றைவிடப் பெரிதாயும்,

(2) விசைச்சிறை எடைச் சிறையைவிடச் சிறிதானால் ஒன்றைவிடச் சிறிதாயும் இருக்கும் என்பது தெளிவாகிறது.

வகுப்பு II :—இவ்வகுப்பைச் சேர்ந்த நெம்புகோல்களிலே, சுழலகமும், விசை தொழிற்படும் புள்ளியும் இருபுறமும் நிற்க, எடை தொழிற்படும் புள்ளி அவற்றினிடையே நிற்கும். (படம் 78 (2)). பாக்குவெட்டிகள் இந்த வகுப்பைச் சேர்ந்த நெம்புகோல்களேயாகும்.




படம் 78 (2)

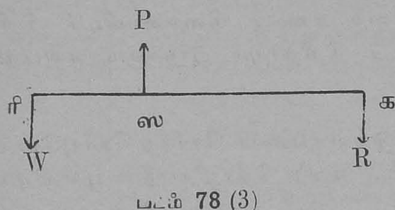
இதில் சம நிலைமைக்கான நிபந்தனைகள் வருமாறு :

(1) $R = W - P$ (2) P.கஸ = W.கரி.

அதனால் $\frac{W}{P} = \frac{\text{கஸ}}{\text{கரி}} = \frac{a}{b}$. இதில் எப்போதும் விசைச்சிறை எடைச் சிறையைவிடப் பெரிதாகும். எனவே இதன் இயந்திர சாதகம் ஒன்றைவிடப் பெரிதாகவே இருக்கும்.

வகுப்பு III :—இவ்வகுப்பைச் சேர்ந்த நெம்புகோல்களிலே, சுழலகமும், எடை தொழிற்படு புள்ளியும் இருபுறமும் இருக்க, அவற்றினிடையே விசைதொழிற்படும் புள்ளி நிற்கும். (படம் (78 (3)). சாமணமும், கிடுக்கியும், படகு தள்ளும் துடுப்பும், இவ்வகுப்பு நெம்புகோல்களுக்கு உதாரணங்களாகும். நமது முன்கை எலும்பும்

இதற்குச் சிறந்ததோர் உதாரணமாகும். முழங்கையின் அடியில் சுழலகம் நிற்க, அதற்குச் சிறிது தூரத்தில் விசையைக் கொடுக்கும் தசை நார் கட்டப்பட்டிருக்கும். எடையோ நமது கையின் நுனியில் நிற்கிறது. இதில் சமநிலைக்கான




படம் 78 (3)

நிபந்தனைகள் வருமாறு:

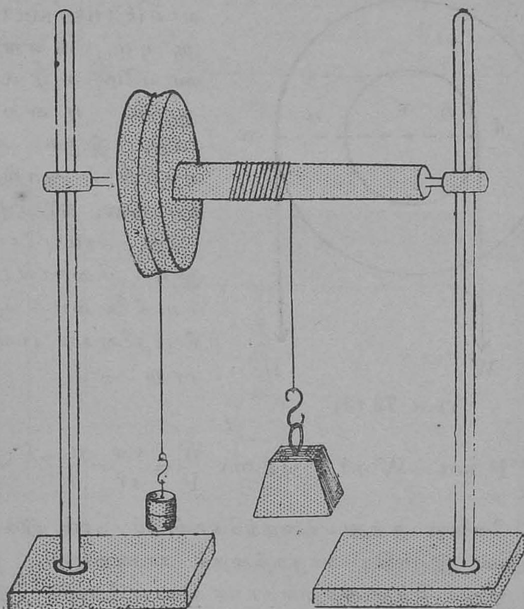
$$(1)\quad R = P - W \qquad (2)\quad P.\text{கஸ} = W.\text{கரி}$$

$$\text{ஆகையால்}\quad \frac{W}{P} = \frac{\text{கஸ}}{\text{கரி}} = \frac{a}{b}$$

இதில் எப்போதும் விசைச் சிறை எடைச் சிறையைவிடச் சிறியதாகவே இருப்பதால், இவ்வகுப்பைச் சேர்ந்த நெம்புகோல்களின் இயந்திர சாதகம் எப்போதும், ஒன்றைவிடக் குறைந்ததொரு பின்னமாகவே இருக்கும்.

சகடும் இருசும் (Wheel and axle) :—(படம் 79 (1)). இதுவும் நெம்புகோல் தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டதொரு சாதனமேயாகும் இதில் வலுவான நீண்டதொரு உருளை, தனது இருசைச் சுற்றித் தன்வயமாகச் சுழலும்படி இரு முனைகளிலும் தாங்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனோடு ஒரு சக்கரமும் ஏக இருசினதாய்ப் பொருத்தப்பட்டு நிற்கிறது. சகடு எனப்படும் இச்சக்கரத்தின்மீதும், இருசு எனப்படும் உருளையின் மீதும், தனித்தனியே ஒவ்வொரு சரடு எதிர்த் திசைகளிலே சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் ஒரு சரட்டின்

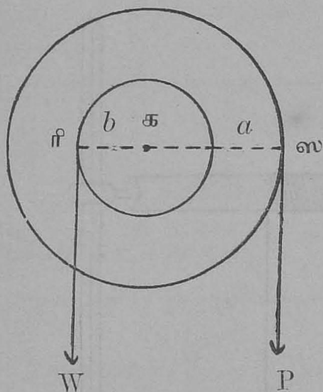
நுனி கீழே இறங்கினல் மற்றொரு சரட்டின் நுனிமே லேறும். எனவே இவற்றின் நுனிகளில் கட்டப்பட்ட



படம் 79 (1)

இரண்டு எடைகள் ஒன்றோடொன்று முரணி நிற்கும். சமநிலைமையில் இவ்விரண்டு எடைகளும் அசையாமல் ஒன்றையொன்று முரணி நிற்கும். சகட்டின் மேலே சுற்றப்பட்ட சரட்டின் நுனியிலே தொழிற்படும் சக்தி விசையாகவும், உருளையின் மேலே சுற்றப்பட்ட சரட்டின் நுனியிலே தொழிற்படும் சக்தி எடை அல்லது தடைச் சக்தியாகவும் கொள்ளப்படும்.

படத்தில் (படம் 79 (2)) காண்பது, சகடும் இருசும் என்னும் இயந்திரத்திலே அதன் இருசுக்கு லம்பமான ஒரு வெட்டுவாய் (Cross section) ஆகும். க என்னும் மையமே சுழலகம் ஆகும். முறையே சகடு, இருசு ஆகியவற்றின் ஆரங்களாகிய கஸ, கரீ என்பன இந்த நெம்புகோலின் இரு சிறைகளாகும். சமநிலைமைக்குரிய நிபந்தனைகள் பின்வருமாறு :—



படம் 79 (2)

$$P.\text{கஸ} = W.\text{கரீ}. \quad \text{அதனால்} \quad \frac{W}{P} = \frac{\text{கஸ}}{\text{கரீ}} = \frac{a}{b}$$

வேலைத் தத்துவத்தைக்கொண்டும் நாம் இச்சாதனத்தின் இயந்திர சாதகத்தைக் காணலாகும். இது ஒரு முழுச் சுற்று சுற்றுவதாகக் கொள்வோம். இதில் P நகரும் தூரம் $2\pi a$ ஆகும். எனவே அது செய்யும் வேலை $2\pi aP$ ஆகும். W நகரும் தூரம் $2\pi b$ ஆகும். எனவே அது செய்யும் வேலை $2\pi bW$ ஆகும்.

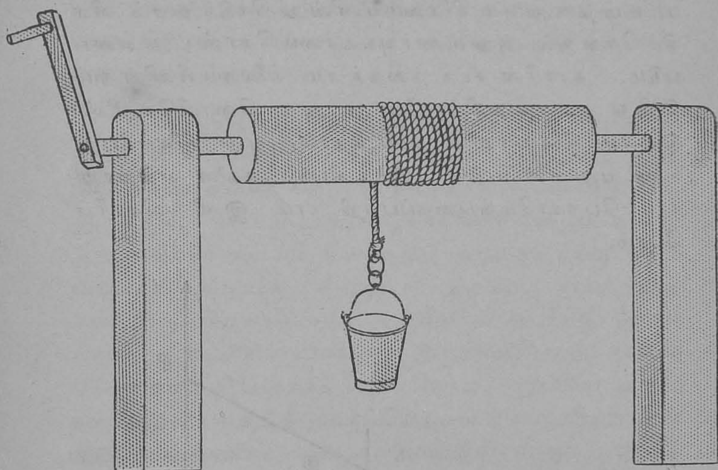
ஆகையால் $2\pi aP = 2\pi bW$.

$$\text{அல்லது} \quad \frac{W}{P} = \frac{a}{b}.$$

இந்த ஆராய்ச்சியில் நாம் சரட்டைத் தடிப்பில்லாத ஒரு கணக்கியல் கோடுபோலக் கொண்டோம். ஆனால் சரடு உண்மையில் அவ்வளவு மெல்லியதாய் இராமல்

தடித்ததாக இருந்தால், அச்சராட்டின் தடிப்பில் பாதியை a, bக்களுடன் கூட்டிக்கொள்ளவேண்டும்.

இவ்வியந்திரத்தின் தத்துவத்தையே இறைப்புருளை (windlass) என்னும் சாதனத்திலும் பிரயோகிக்கப் படுகிறது. இதில் உருளையின் ஒரு ஓரத்திலே சக்கரத்



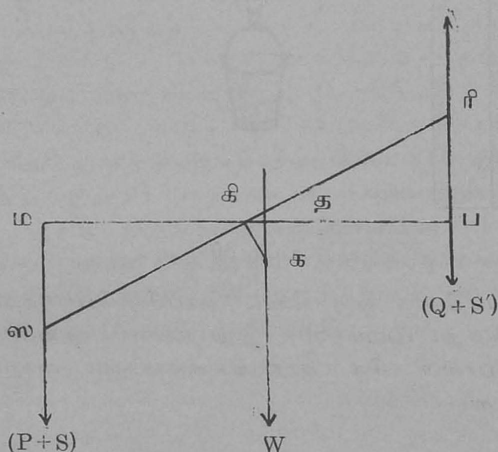
படம் 80

திற்குப்பதிலாக ஒரு நீண்ட கைப்பிடி பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 80). இது தண்ணீர் இறைக்கவும் அதுபோன்ற சில காரியங்களுக்காகவும் கையாளப் படுகிறது.

தராசு :—தராசு முதல் வகுப்பைச் சேர்ந்தவொரு நெம்புகோலேயாகும். தராசைப்பற்றிய வர்ணனை முன்னொரு அத்தியாயத்தில் கூறப்பட்டது. ஒரு நல்ல தராசிற்கு அவசியமான குணங்கள் வருமாறு :

(1) உண்மை (truthfulness) (2) உணர்வுக் கூர்மை (Sensibility) (3) நிலைப்பேறு (Stability)

சமமான நிறைகள் தட்டுகளில் இடப்பட்டபோதெல்லாம் தராசின் சட்டம் படுக்கை வாக்கிலே நின்றால் அத்தராசு உண்மையுடையது எனப்படும். இந்த நிறைகளில் மிகச் சிறிய வேற்றுமை ஏற்பட்டாலும் சட்டம் தனது சம நிலைமையினின்று நெடுந்தூரம் விலகிச் சென்றால், அது உணர்வுக்கூர்மை கொண்டது எனப்படும். தராசின் சட்டத்தைச் சம நிலைமையினின்றும் சிறிது அசைத்துவிட்டபோது அது விரைவிலே மீண்டும் சம நிலைமையை அடைந்தால், அது நிலைப்பேறு உடையது எனப்படும். இந்த நிபந்தனைகளை எவ்வாறு நாம் பெறலாமென்பதைப்பற்றி நாம் இனி விசாரிப்போம்.




படம் 81

தட்டுகள் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும் இரண்டு புள்ளிகளும் முறையே ஸ, ரீ என்று கொள்வோம்.

(படம் 81). கி என்பது சுழலகத்தைக் காட்டுகிறது. தராசு எடைகட்டி இருக்கும்போது அதில் தொழிற்படும் சக்திகளாவன: (1) சட்டத்தின் எடையாகிய W (2) தட்டுகளின் எடையாகிய S, S′ (3) P, Q என்னும் எடைகள். சட்டத்தின் எடையாகிய W அதன் கவர்ச்சிமையமாகிய க-வில் தொழிற்படுகிறது. கிக என்னும் கோடு எப்போதும் ஸகிரீ-க்கு லம்பமாக நிற்க வேண்டும். கிக $= h$ என்றும், கிஸ $= a$, கிரீ $= b$ என்றும் கொள்வோம்.

உண்மைக்குரிய நிபந்தனை:—சமமான நிறைகள் தட்டுகளில் வைக்கப்பட்ட போதெல்லாம் சட்டம் படுக்கை வாக்கிலே நின்றால், தராசு உண்மையானதாய் இருக்கும். சட்டம் படுக்கை வாக்கிலே நின்றால் க என்னும் கவர்ச்சி மையம் கி என்னும் சுழலகத்திற்கு நிமிர்வையாக அடியில் நிற்கும். இதனால் சட்டத்தின் எடைக்கு சுழலகத்தைச் சுற்றிய திருப்பியல் இல்லையாகும். தட்டுகள் காலியாக இருக்கும்போது சட்டம் படுக்கையில் நிற்பதாகக் கொள்வோம். இப்போது சுழலகத்தைச் சுற்றித் திருப்பியலுடையவை S, S′ என்னும் தட்டுகளின் எடைகள் மட்டுமேயாகும். இவை முறையே ஸ, ரீ என்னும் புள்ளிகளின் வழியாக நிமிர்வையாகக் கீழ்நோக்கித் தொழிற்படுகின்றன. எனவே சுழலகத்தைச் சுற்றித் திருப்பியல் காண

$S.a = S'.b$ ஆகும். இப்போது சமமான P, P என்னும் இரண்டு எடைகள் தட்டுக்கொன்றாக வைக்கப்படுவதாகக்கொள்வோம். தராசு உண்மையானதாய் இருப்பின் சட்டம் மீண்டும் படுக்கையிலே நிற்கும். எனவே மறுபடியும் திருப்பியல் காண

$$(P + S)\, a = (P + S')\, b$$

அல்லது $P.a + S.a = P.b + S'.b$

ஆனால் $S.a = S'.b$ ; எனவே இவற்றைக்கழிக்க.

$$P.a = P.b$$

அதனால் $a = b$

மேலும் $S.a = S'.b$ ஆகையால் $S = S'$ ஆக வேண்டும். எனவே தராசு உண்மையாய் இருக்க வேண்டுமானால் அதன் சிறைகள் ஒன்றுக்கொன்று சம மாக இருக்கவேண்டும்; அதன் தட்டுகளின் நிறைகளும் சமமாய் இருக்கவேண்டும்.

உணர்வுக்கூர்மைக்குரிய நிபந்தனை :—இந்த நிபந் தனையைக் காணும்போது நாம் தராசு உண்மையான தாய் இருப்பதாகக் கொள்வோம். உணர்வுக்கூர்மைக் குரிய நிபந்தனையாவது P, Q என்னும் நிறைகள் தம் மில் சிறிது வேறுபட்டாலும், சட்டத்தின் நிலையில் உண்டாகும் விலக்கம் பெரிதாய் இருக்கவேண்டுமென் பது. அதாவது சட்டம் படுக்கை நிலையிலிருந்து அதிக மாக வேறுபடவேண்டும். அது $\theta$ என்னும் கோணத்தி னளவு படுக்கை நிலையிலிருந்து வேறுபட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். முன்படத்தில் கி-யின் வழியாகச் செல் லும் ஒரு படுகைக்கோடு ஸ, ரி, க என்னும் புள்ளி களின் வழியே செல்லும் நிமிர்வைகளை முறையே ம, த, ப என்னும் புள்ளிகளிலே குறுக்கிடுவதாகக் கொள்வோம். ஸகிம, கிகத என்னுமிரண்டு கோணங் களும் $\theta$-வுக்குச் சமமானவை.

மற்றும் கிப = கிம = கிஸ $\cos\theta = a\cos\theta$ ;

கித = கிக $\sin\theta = h\sin\theta$.

இவ்வாறாக கி-யைச்சுற்றி திருப்பியல் காண

$$(P + S)\ \text{கிம} = (Q + S')\ \text{கிப} + W.\text{கித}$$

ஆகையால் $(P - Q)\, a\cos\theta = Wh\sin\theta$

அல்லது $\frac{P - Q}{\tan \theta} = \frac{a}{W . h}$

$\frac{\tan \theta}{P - Q}$ என்பது உணர்வுக்கூர்மையின் அளவைக் குறிக்கும்.

(P — Q) சிறிதாய்விட மேலேகண்ட பின்னம் பெரிதாய்விடும். எனவே தராசின் உணர்வுக்கூர்மை அதிகரிக்கும். எனவே உணர்வுக்கூர்மை அதிகம் வேண்டுமாயின் $\frac{a}{Wh}$ என்னும் பின்னம் பெரிதாகவேண்டும். அதாவது $a$ பெரிதாகவேண்டும். அல்லது $Wh$ சிறிதாகவேண்டும். அல்லது இந்த இரண்டும் உடன் நிகழவேண்டும். $a$ அதிகரிப்பது சௌகரியப்படாததாகையால் சட்டம் லேசானதாய் இருக்கவேண்டும். மற்றும் கவர்ச்சிமையம் சுழலகத்திற்கு வெகு சமீபத்தில் நிற்கவேண்டும்.

நிலைபேற்றிற்குரிய நிபந்தனை :—இந்த நிபந்தனைக்குத் தராசுத்தட்டுகள் எடைகட்டி இருக்கும்போது அதைச்சிறிது அசைத்துவிட்டால், அது விரைவிலே தன்னிலையை அடைந்துவிடவேண்டும். தட்டுகளில் சமமான நிறைகள் இருக்கும்போது சட்டத்தைச் சிறிது அசைத்துவிட்டால், சுழலகத்தைச்சுற்றி இரு தட்டுகளிலுள்ள எடைகளின் திருப்பியல்கள் ஒன்றையொன்று அழித்துவிடுகின்றன. எனவே மறுபடியும் சமநிலைமையை உண்டாக்குதற்குரிய திருப்பியல் சட்டத்தின் எடைக்குரியது மட்டுமேயாகும். இது $Wh$ என்னும் பெருக்குத்தொகையால் குறிக்கப்படும். அதனால் நிலை பேறுவேண்டுமானால் இந்தத் திருப்பியல் சட்டத்தை மீண்டும் தன்னிலைக்குக் கொண்டுவரக் கூடியதாய் இருக்கவேண்டும். இதற்குச் சுழலகத்திற்கு அடி

யில் க இருக்கவேண்டும். விரைவிலே தன்னிலையை அடையவேண்டுமானால் $Wh$ பெரிதாய் இருக்கவேண்டும். இதற்கு W-வைப் பெரிதாகுவதுமட்டும் போதாது. ஏனெனில், அவ்வாறுசெய்தால் தொழிற்படும் சக்தி அதிகரிப்பதோடு அமையாமல் அதனோடு அச்சக்தியால் இயக்கப்படும் நிறையும் அதிகரித்துவிடுவதால், முடுக்கம் அதிகரிப்பதற்கு இடமில்லாது போய்விடுகிறது. ஆகையால் நிலை பேறு வேண்டுமானால் $h$ பெரிதாய் இருக்கவேண்டும். அதாவது கவர்ச்சி மையம் கூடியவரை சுழலகத்திற்குக் கீழே தூரத்தில் இருக்க வேண்டும். ஆனால் இந்த நிபந்தனை முன்பு நாம் உணர்வுக்கூர்மைக்குக்கண்ட நிபந்தனைக்கு முற்றிலும் முரண்பட்டது என்பது எளிதில் விளங்கும். கூடிய வரை உணர்வுக்கூர்மையும் நிலைபேறும் வேண்டுமானால் $h$-ஐ மிகச் சிறியதாகச் செய்யாமல் தராசின் சிறைகளைக் கூடியவரை நீட்டிவிடவேண்டும். இந்த இரண்டு நிபந்தனைகளின் தராதர முக்கியத்துவம் அது கையாளப்படும் காரியத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது.

சமமில்லாத சிறைகளையுடைய தராசினால் நிறையிடுதலும், அச்சிறைகளின் தகவைக் கணக்கிடலும்.

போர்டாவின் ஈடிடும் முறை (Substitution method of Borda) :--நிறுக்கவேண்டிய பொருளின் நிறை W கிராம் என்று கொள்வோம். அப்பொருளை வலது தட்டில் வைக்கவும். இடது தட்டில் சிறு ஈயரவைகளை இட்டு ஏறக்குறைய சமமாகும்படி எடை கட்டவும். அதன் தங்கு நிலையாகிய $x$-யைக் காணவும். பொருளை எடுத்துவிட்டு வலது தட்டில் எடைகளை இட்டு ஏறக்குறைய சமமாகும்படி எடைகட்டி, அதன் தங்கு நிலையாகிய $y$-யைக் காணவும். இப்போது வலது தட்டில் இடப்பட்ட எடை $w$ கிராம் என்று கொள்வோம்.

இந்த எடையைச் சிறிதளவு மாற்றி மறுபடியும் அதன் தங்கு நிலையாகிய $z$-யைக் கண்டுபிடிக்கவும். $y$, $z$-களைக் கொண்டு தராசின் அந்த எடைக்குரிய உணர்வுக்கூர்மையைக் கணக்கிடப்படும். அது ஒரு அளவிப் பிரிவுக்கு $m$ கிராம் என்று கொள்வோம். $x$ என்னும் பிரிவு $y$ என்னும் பிரிவுக்கு வலது புறத்தில் இருப்பதாகக்கொள்வோம். எனவே $w$ என்பது ஈய ரவைகளை நிலைப்படுத்துதற்குரிய நிறையைவிடக் குறைவானது. இக்குறைவான நிறை சூசிகையை $(x - y)$ பிரிவுகளின் தூரம் நகர்த்தக்கூடியது. ஆகையால் இக்குறைவான நிலை $(x - y)m$ கிராம் ஆகும். எனவே ஈய ரவைகளை நிலைப்படுத்துதற்குரிய நிறை $\{w+(x-y)m\}$ கிராம் ஆகும்.

ஆனால் இதே ஈய ரவைகள் W என்னும் எடை கொண்ட பொருளினால் $x$ என்னும் தங்கு நிலையிலே நிலைப்படுத்தப்பட்டது. ஆகையால்

$$W = \{ w + (x - y) m \} \text{ கிராம்.}$$

காஸின் முறை (Method of Guass) :—தட்டுகள் காலியாக இருக்கும்போது தராசின் தங்கு நிலையைக் கண்டுபிடிக்கவும். நிறுக்கவேண்டிய பொருளை இடது தட்டில் இட்டு வலது தட்டிலே எடைகளை இட்டு, மறுபடியும் தங்கு நிலையை முன்னிலைக்கே வரும்படிச் செய்யவும். இந்த எடை P என்று கொள்ளவும். இப்போது நிறுக்கவேண்டிய பொருளை வலது தட்டில் இட்டு இடது தட்டிலே எடைகளைக்கட்டி, தங்கு நிலையை மறுபடியும் முன்னிலைக்கே கொண்டுவரவும். இப்போது இட்ட எடை Q என்று கொள்ளவும். தராசின் சிறைகள் சமமில்லாதிருப்பதால் P, Q ஆகிய இரண்டு எடைகளும் வெவ்வேறாக இருக்கும். S, S′ என்பன தட்டுகளின் எடைகள் என்றும், $a$, $b$ என்பன

நிறைகளின் நீளங்கள் என்றும் கொள்வோம். தட்டுகள் காலியாக இருக்கும்போது

$$S.a = S'.b$$

அதனால் $(W + S)a = (P + S')b$

எனவே $W.a = P.b$ ..............................(1)

பொருளையும் எடைகளையும் தட்டுமாற்றி இட்டபோது

$$(Q + S)a = (W + S')b$$

ஆனால் $S.a = S'.b$

ஆகையால் $Q.a = W.b$ ..............................(2)

(1)-ஐயும் (2)-ஐயும் பெருக்க

$$W.Q.a^2 = W.P.b^2$$

அல்லது $\frac{a^2}{b^2} = \frac{P}{Q}$

ஆகையால் $\frac{a}{b} = \sqrt{\frac{P}{Q}}$

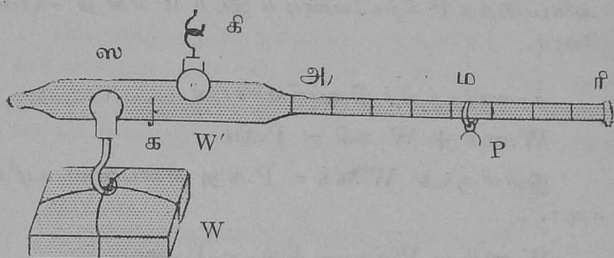
இவ்வாறாக நிறைகளின் தகவு கணக்கிடப்படுகிறது. (1)-ஐ (2) ஆல் வகுக்க $W^2 = P.Q$ ஆகும்.

அல்லது $W = \sqrt{PQ}$

இவ்வாறாகப் பொருளின் உண்மையான எடை காணப்படும்.

துலாக்கோல்கள் (Steel yards) :—(1) ரோமன்-துலாக்கோல். (படம் 82). அதில் ஸரி என்னும் ஒரு நெம்புகோல் கி என்னுமிடத்தில் ஒரு கத்தி முனையால் தாங்கப்பட்டு நிற்கிறது. ஸ என்னுமிடத்தில் உள்ளதொரு கொக்கியிலே நிறுக்கவேண்டிய சாமான்களை வைப்பதற்குரிய தட்டு தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும். கிரி

என்னும் சிறையிலே பல பிரிவுகள் இருக்கின்றன. இந்த இடத்தில் P என்னும் ஒரு மாறுத கட்டளை நிறை




படம் 82

தொங்கவிடப்படும். துலாக்கோல் படுக்கையிலே நிற்கும்படி சரிப்படுத்துவதற்காக P எந்தப்பிரிவில் இருந்து தொங்கவிடவேண்டுமோ அதுவே கொக்கியில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ள பொருளின் எடையைக்காட்டும். எனவே துலாக்கோல் என்பது சிறையின் நீளத்தை மாற்றிச் சரிப்படுத்தக்கூடியதொரு தராசே ஆகும். எடைகளை மாற்றிச் சரிப்படுத்தாமல் சிறையின் நீளத்தைச் சரிப்படுத்தி நாம் பொருளின் நிறையைக் காண்கிறோம்.

துலாக்கோலை வகைப்படுத்த :—துலாக்கோலின் எடை W′ என்றும் அது க என்னும் இடத்தில் தொழிற்படுவதாகவும் கொள்வோம். கொக்கியில் எடையில்லாதபோது இந்த க என்னும் புள்ளி, குட்டையான ஸகி என்னும் சிறையில் தங்கி நிற்கும்படியாகத் துலாக்கோலை அமைப்பது வழக்கம். துலாக்கோல் படுக்கையிலே நிற்பதற்காக கிரி என்னும் சிறையிலே P நிற்க வேண்டிய இடம் அ என்று கொள்வோம். கி-யைச் சுற்றித் திருப்பியல்காண : $W' \times$ ககி $= P \times$ கிஅ இந்த உறவிலிருந்து வகைப்பாட்டிலே சூனியப் புள்ளி

யாகிய அ இருக்குமிடத்தை நிர்ணயிக்கலாம். கொக்கியில் W என்னும் எடை தொங்கும்போது அதைத் துலைப்படுத்த P நிற்கவேண்டிய இடம் ம என்று கொள்வோம்.

கி-யைச்சுற்றித் திருப்பியல்காண

W.ஸகி + W′.ககி = P.கிம

இதிலிருந்து W′.ககி = P.கிஅ என்பதைக் கழிக்கவும்.

W.ஸகி = P(கிம − கிஅ) = P.அம

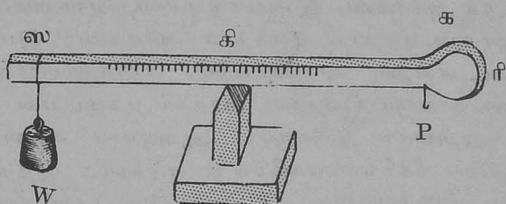
$\therefore$ அம = $\frac{W}{P}$ ஸகி

W = P ஆனால் அம = ஸகி; எனவே அ-விலிருந்து அம = ஸகி என்னும் உறவுண்டாகும்படியாக நாம் ம என்னும் புள்ளியைக் கண்டு குறிப்பிட, இந்த புள்ளியிலே P என்னும் எடை தொங்கும்போது துலாக்கோல் துலைப்பட்டு நின்றால், கொக்கியில் தொங்கும் எடையின் அளவும் P ஆகும். இரண்டாவதாக W = 2P ஆனால் அம = 2ஸகி ஆகும். ஆகையால் அ-விலிருந்து அமி = 2ஸகி ஆகும்படியாக மி என்ற புள்ளியைக்கண்டு குறிப்பிடவும். இவ்வாறே W = 3P ஆக வேண்டுமானால் அமீ = 3ஸகி ஆகும்படி மீ என்ற புள்ளியைக்கண்டு குறிப்பிடவும். எனவே இத்துலாக்கோலை வகைப்படுத்த வேண்டுமானால் அ-விலிருந்து முறையே ஸகி, 2 ஸகி, 3 ஸகி, 4 ஸகி, ........... தூரம்கொண்ட ம, மி, மீ, மு, மூ ........... என்னும் புள்ளிகளைக் கண்டு குறிப்பிடவும்.

P என்னும் எடை இப்பிரிவுகளில் தொங்கும்போது கொக்கியில் தொங்கும் எடை முறையே P, 2P, 3P, 4P...............ஆகும். இப்பிரிவுகளுக்கு இடைப்

பட்ட தூரங்களைப் பின்னும் வகுத்து P-க்குக் குறைந்த எடைகளையும் நிர்ணயிக்கலாம்.

**டேனிஷ் துலாக்கோல்** :—(படம் 83). இதில் ஸரி என்னும் ஒரு சட்டத்தின் ரி என்ற முனையில் ஒரு குண்டு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இச்சட்டம் வகைப் படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இதில் சுழலகம் மாறும் தன்




படம் **83**

மைவாய்ந்தது. நிறுக்கவேண்டிய பொருள் ஸ என்னு மிடத்திலிருந்து தொங்கவிடப்படும். கி என்னும் சுழலகத்தைச் சரிப்படுத்தி அமைத்துச் சட்டத்தை படுக்கையில் நிற்கும்படி துலைப்படுத்தவேண்டும். துலாக்கோலின் எடை P என்றும், அது தொழிற்படும் இடம் க என்றும் கொள்வோம். கி என்னும் புள்ளியைச் சுற்றி P-யின் திருப்பியலும் W-வின் திருப்பியலும் துலைப்படுகின்றன.

எனவே W.ஸகி = P.கிக = P (ஸக — ஸகி)

அதனால் (P + W) ஸகி = P.ஸக

$$\text{ஸகி} = \frac{\text{P·ஸக}}{\text{P+W}}\text{; W = P ஆனால் ஸகி} = \frac{\text{ஸக}}{2}$$

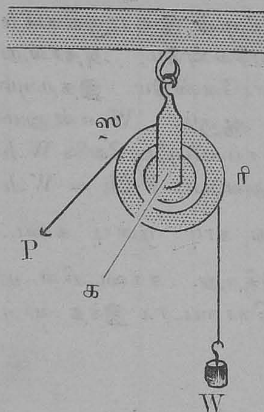
இவ்வாறே W-வை முறையே 2P, 3P............க்களுக்கு சமமாகும்படி செய்து மற்ற வகைப்பாடுகளையும் முறையே கண்டு குறித்துவிடலாம்.

சகடைகள் :—சகடை என்பது தனது இருசைச் சுற்றித் தன் வயமாய்ச் சுழலக்கூடியவாறு ஏற்றிவைக் கப்பட்டதொரு உருளை அல்லது சக்கரம் ஆகும். இதன் ஓரத்தைச்சுற்றிலும் ஒரு மெல்லிய சரடு பதியும் படியானதொரு வாய்க்கால் வெட்டப்பட்டிருக்கும். இதன் இருசைத் தாங்கிநிற்கும் சட்டகத்திற்குக் கப்பி (block) என்று பெயர். இச்சட்டகம் அசையாது நின்றால் அச்சகடை இயங்காத சகடை என்றும், அது அசையக்கூடியதாய் இருந்தால் அச்சகடை இயங்கும் சகடை என்றும் சொல்லப்படும். சாமானியமாய் இச் சகடைதாங்கும் நிறையை நோக்கச் சகடையின் நிறை மிக அற்பமாய் இருக்கும். ஆகையால் சகடையின் நிறையை நீக்கிக் கணக்கிடுவது வழக்கம். இத்தகைய சகடை நிறையற்ற சகடை எனப்படும். நாம் எப்போ தும் சரட்டின் நிறையையும், அதில் உள்ள விறைப்பை யும், சகடை சுழலுவதால் ஏற்படும் சிக்கலையும் தள் ளியே கணக்கிடுவோம். இதனால் சரட்டின் நெடுக அதிலுள்ள பிகு மாறாது ஒரே தரத்ததாய் இருப்ப தாக ஏற்படும்.

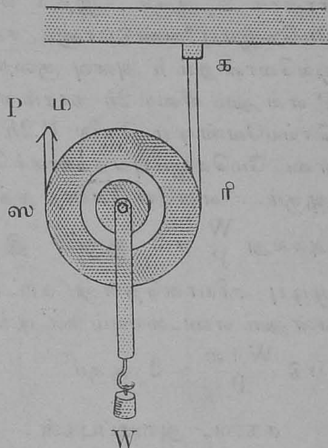
ஒற்றைச் சகடை :—(படம் 84). கப்பி இயங்காத தாய் இருப்பின், இச்சகடையினால் ஆகும் சாதகம் சக்தி யின் திசை வேறுபாடேயன்றி, பரிமாண வேறுபாடல்ல என்பதைக் காண்போம். ஸ, ரி என்பன சரடு உரு ளையைவிட்டு நீங்குமிடங்கள் என்றும், க என்பது உரு ளையின் மையம் என்றும், P என்பது ஸ-வில் பிரயோ கிக்கப்படும் விசை என்றும், W என்பது தொங்கும் எடை என்றும் கொள்வோம். க-வைச்சுற்றித் திருப் பியல் காண P.கஸ = W.கரி.

ஆனால் கஸ = கரி ; எனவே P = W. படத்தில் கண்டுள்ள இயங்கும் ஒற்றைச்சகடையிலே (படம்85)

எடையானது கப்பியினின்று தொங்கவிடப்படும். சரட்டின் ஒரு முனை க என்னும் ஒரு அசையாத பிடிப்




படம் 84




படம் 85

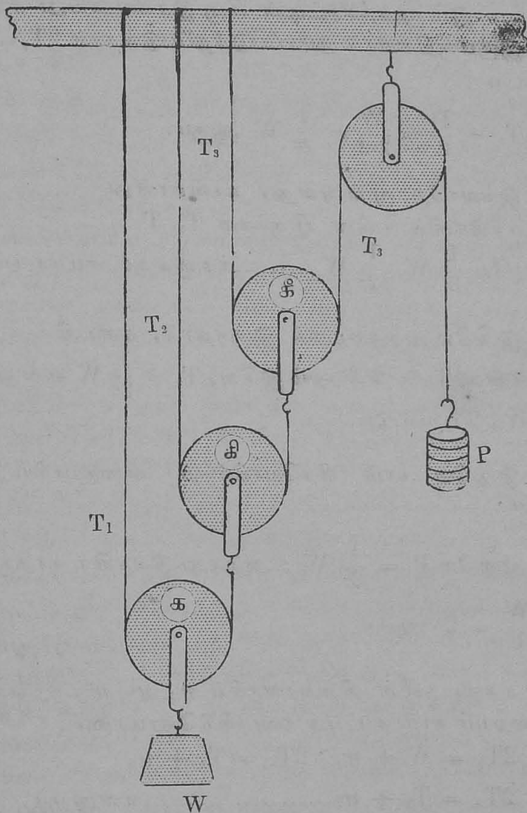
பிலே இணைக்கப்பட்டு அச்சரடு சகடையின் கீழாகச் சுற்றப்பட்டு, மற்றொரு முனையாகிய ம மேலே தூக்கி இழுக்கப்படும். சரட்டின் இரு பகுதிகளும் இணையாக நிற்கும் நிலையைப்பற்றி மட்டுமே நாம் விசாரிப்போம். இதில் தொழிற்படும் சக்திகளாவன : ஸம, ரீக என்னும் சரட்டின் பகுதிகளிலுள்ள பிருக்களும், கீழ் நோக்கி இழுக்கும் எடையும் ஆகும். சரடு முழுவதும் பிரு ஒரே சீராய் இருக்கும். இதன் அளவு P ஆனல், மேனேக்கி இழுக்கும் மொத்த சக்தி 2P ஆகும். இதைக் கீழ்நோக்கி இழுக்கும் எடையாகிய W துலைப் படுத்துகிறது. எனவே W = 2P ஆகும். எனவே $\frac{W}{P} = 2$. இதனுல் ஒரு விசை தன்னைப்போன்று இரு

மடங்கான எடையைத் தூக்கமுடியுமென்று தெரிகிறது. அதாவது இயங்கும் ஒற்றைச் சகடையின் இயந்திர சாதகம் 2 ஆகும். இதில் எடை $h$ என்னும் தூரம் மேலெழும்பவேண்டுமானல், சரட்டின் இரு பகுதிகளில் ஒவ்வொன்றும் $h$ அளவு குறையவேண்டும். அதாவது P என்னும் விசை $2h$ தூரம் நகரவேண்டும். இதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலை $P.2h$ ஆகும். W என்னும் எடை மேலெழும்புவதற்காகச் செய்யப்பட்ட வேலை $W.h$ ஆகும். எனவே வேலைத் தத்துவப்படி $P.2h = W.h$ அல்லது $\frac{W}{P} = 2$ ஆகும். இது நாம் முன்பு கண்ட முடிபு சரியானதென்று காட்டுகிறது. சகடையின் $w$ என்னும் எடையையும் கூட்டிக்கொண்டால் இந்த வாய்பாடு $\frac{W+w}{P} = 2$ ஆகும்.

சகடை அமைப்புகள் :—பல்வேறு விதமான சகடை அமைப்புகள் சாமானியமாய்க் கையாளப்படுகின்றன. அவற்றில் மூன்றைப்பற்றி இப்போது நாம் விசாரிப்போம்.

முதல் அமைப்பு :—(படம் 86) இதில் பல சகடைகள் கையாளப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு சகடையும் தனித்தனியான சரடுகளில் தாங்கப்பட்டிருக்கும். சரடுகளில் ஒவ்வொன்றிலும் ஒரு முனை ஒரு நிலையான பிடிப்பில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். மறு முனை அது சுற்றிச்செல்லும் சகடைக்கு அடுத்து மேலுள்ள சகடையின் கப்பியினடியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். கடைசிச் சகடையை சுற்றிச்செல்லும் சரட்டின் இரண்டாவது முனை ஒரு இயங்காத சகடையின் மேலாகச் சுற்றப்பட்டு கீழ்நோக்கி இழுக்கப்படும். இதே முனையில் விசையாகிய P தொழிற்படும். முதல் சகடையின் கப்பியினடியில் எடை பொருத்தப்படும். க, கி, கீ,.........என்பன

முறையே அடிமுதலாக எண்ணப்பட்ட சகடைகள் என்றும், $T_1$, $T_2$, $T_3$ என்பன முறையே இச்சகடைகளைச்




படம் 86

சுற்றி நிற்கும் சரடுகளில் உள்ள பிருக்கள் என்றும் கொள்வோம். சகடைகளின் நிறைகளை நீக்கிவிட்டுக் கணக்கிட்டால், முதல் சகடையில் கட்டித்தொங்கும்

W என்னும் எடை முதல் சரட்டின் இரு பகுதிகளால் தாங்கப்படுவதால் $2T_1 = W$ ஆகும். அதாவது $T_1 = \frac{1}{2}W$ ஆகும். இம் முதற்சரட்டின் பிகு இரண்டாவது சரட்டின் இருபகுதிகளால் துலேப்படுத்தப்படுவதால் $2T_2 = T_1$ அல்லது

$$T_2 = \frac{T_1}{2} = \frac{W}{2.2} = \frac{1}{2^2} W \text{ ஆகும்.}$$

இவ்வாறே மூன்றாவது, நான்காவது.......................சரடுகளில் உள்ள பிகுக்கள் $T_3$, $T_4$..................முறையே $\frac{1}{2^3} W$, $\frac{1}{2^4} W$,.........க்களுக்குச் சமமாகும்.

இதிலே $n$ சகடைகள் இருந்தால், கடைசிச் சரட்டில் உள்ள $T_n$ = என்னும் இசிவு, $T_n = \frac{1}{2^n} W$ என்னும் உறவால் பெறப்படும்.

இதுவே நாம் பிரயோகிக்கும் விசையாகிய P ஆகும்.

எனவே $P = \frac{1}{2^n} W$ ; அல்லது இயந்திர சாதகமாகிய $\frac{W}{P} = 2^n$ ஆகும்.

சகடைகளின் நிறைகளாகிய $w_1, w_2, w_3$......என்பவற்றையும் நாம் கூட்டிக் கணக்கிடுவோமானல்,

$2T_1 = W + w_1$ ; $2T_2 = T_1 + w_2$

$2T_3 = T_2 + w_3$......................என்ருகும்.

எனவே $T_1 = \frac{W + w_1}{2}$ ; $T_2 = \frac{1}{2} T_1 + \frac{w_2}{2}$

$$= \frac{W}{2^2} + \frac{w_1}{2^2} + \frac{w_2}{2}$$

$$T_3 = \frac{1}{2} T_2 + \frac{w_3}{2} = \frac{W}{2^3} + \frac{w_1}{2^3} + \frac{w_2}{2^2} + \frac{w_3}{2}$$
என்றாகும்.

$$\text{ஆகையால் } P = \frac{W}{2^n} + \frac{w_1 + 2w_2 + 4w_3 + \ldots\ldots}{2^n}$$

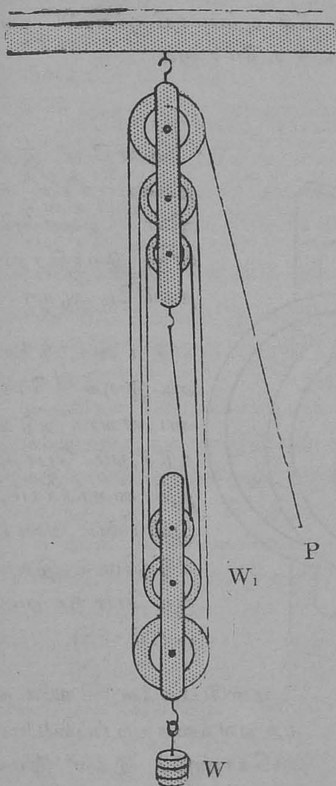
இதிலிருந்து P மிகச் சிறியதாய் இருக்கவேண்டுமானால் $w_1+2w_2+4w_3+\ldots\ldots$ மிகச் சிறியதாய் இருக்கவேண்டுமென்பது விளங்கும். இந்த நிபந்தனை பூர்த்தியாகவேண்டுமானால் $\ldots\ldots\ldots\ldots w_3 < w_2 < w_1$ ஆகவேண்டும். எனவே உச்சமான இயந்திர சாதகம் அடைவதற்கு நாம் சகடைகளை முறைப்படுத்தும்போது, மிகவும் லேசான சகடையை மேலேவைத்துப் படிப்படியாகக் கனமான சகடைகளைக் கீழே கிரமமாக வைக்கவேண்டுமென்று தெரிகிறது. மேலும் சகடைகளின் நிறையால் இயந்திர சாதகம் பெரிதும் குறைந்துவிடுகிறது என்பதும் தெரிகிறது. வேலைத் தத்துவத்தைக்கொண்டும் இதன் இயந்திர சாதகத்தை நாம் கணக்கிடலாம். எடை $x$ என்னும் தூரம் மேலேறுவதாகக்கொள்வோம். இதனால் முதல் சரட்டின் இரண்டாவது முனை $2x$ தூரம் மேலெழுவதால், இரண்டாவது சகடை $2x$ தூரம் மேலேறும். இவ்வாறே மூன்றாவது சகடை $2^2x$ தூரமும், நான்காவது சகடை $2^3x$ தூரமும்,...... $n$ சகடை $2^{n-1}x$ தூரமும் நீண்டுவரும். எனவே P என்னும் விசை $2^nx$ தூரம் நகரும். இதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலை $2^nx.P$ ஆகும். எடை $x$ தூரம் மேலேறியதற்காகச் செய்யும் வேலை $W.x$ ஆகும். எனவே $W.x = 2^nx.P$ அல்லது $\frac{W}{P} = 2^n$ ஆகும்.

பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல் :—பல சகடைகளை எடுத்து அவற்றைப் படத்தில் கண்டவாறு அமைக்கவும். மிகவும் கனமான சகடையை அடியிலும், படிப்

படியாகக் குறைந்த கனமுள்ள சகடுகளை அடுத்தடுத்து மேலேயும் அமைத்துக்கொண்டு போகவேண்டும். கடைசிச்சரட்டின் நுனியை ஒரு இயங்காத சகடையின் மேலாகச்சுற்றி, அதன் நுனியில் கீழ்நோக்கி இழுக்கும்படி விசையைப் பிரயோகிக்கவும். சகடைகளின் நிறைகளை ஈடு செய்வதற்காக, W-வை நீக்கிவிட்டு, ஒரு சிறு எடையை விசையாகப் பிரயோகித்து, அது சகடைகளின் நிறைகளை எதிர்த்துத் துலைப்படுத்தும்படி செய்து, அச்சிறு எடையைக் கண்டு பிடிக்கவும். இந்த எடையை அவ்வப்போது பிரயோகிக்கப்படும் விசையின் அளவிலிருந்து குறைத்துவிட வேண்டும். சிக்கலின் விளைவைப் போக்கவேண்டுவதற்காக அவ்வப்போதும் சீராக மேலும் கீழும் நகருவதற்குரிய $P_1$, $P_2$ என்னும் இரண்டு விசைகளைக்கண்டு, அவற்றின் பொதுமையே விசையாகக் கொள்ளவேண்டும். இவ்வாறாக முறையே 1, 2, 3, 4.........$n$ இயங்கும் சகடைகளைக் கையாண்டு அவ்வப்போதும் இவ்வமைப்பின் இயந்திர சாதகமாகிய $\frac{W}{P}$யைக் காணவும். அது முறையே 2, $2^2$, $2^3$.........$2^n$ ஆக இருக்கிறதா என்று பார்க்கவும்.

சகடைகளின் இரண்டாவது அமைப்பு:—(படம் 87). இதை ஒற்றைச்சரட்டு அமைப்பு என்றும் கூறுவதுண்டு. இதில் இரண்டு சகடைக்கப்பிகள் இருக்கின்றன. படத்தில் கண்டபடி இதில் ஒவ்வொரு கப்பியிலும் சமமான எண்ணுள்ள சகடைகள் இருக்கின்றன. ஒருகப்பி ஒரு பிடிப்பிலே பொருத்தப்பட்டுத் தொங்கும். இக்கப்பியினடியில் ஒரு சரடு கட்டப்பட்டு, கீழேயுள்ள மற்றொரு கப்பியின் மேல்சகடையினடியிலும், பிறகு மேல்கப்பியின் அடிச்சகடையின் மேலுமாக மாறிமாறிச் சுற்றப்பட்டு, அது கடைசியாக மேற்கப்பி

யின்மேற் சகடையின்மேலாக வந்து தொங்கும். இவ்வாறுதொங்கும் முனையில் P என்னும் விசை பிரயோகிக்கப்படும். அடிக் கப்பியின் அடி முனையில் W என்னும் எடை கட்டப்பட்டுத் தொங்கும். இச்சரட்டின் நெடுக சீரான P என்னும் பிகு இருக்கும். இச்சரட்டின் பல பகுதிகளும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு கப்பியிலும் $n$ சகடைகள் இருந்தால், எடையும் கீழ்க்கப்பியும் $2n$ சரடுகளால் தாங்கப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு சரட்டிலும் உள்ள இசிவு P ஆகையால், மொத்த மேனோக்கி இழுக்கும் சக்தி $2n$ P ஆகும். இச்சக்தி, கீழ்நோக்கி இழுக்கும் W என்னும் எடை, கீழ்க்கப்பியின் $W_1$ என்னும் எடை ஆகியவற்றால் துலைப்படுத்தப்படுகிறது.



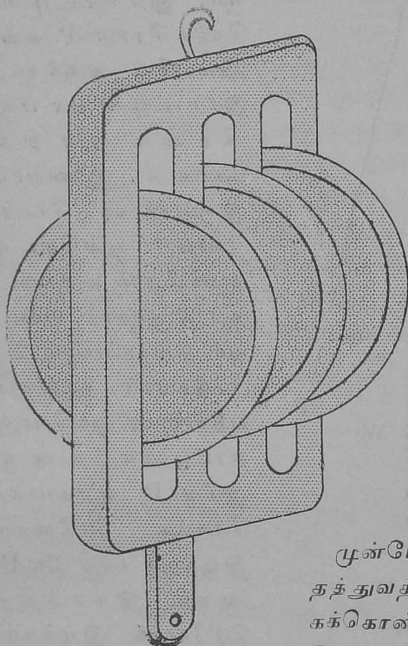

படம் 87

ஆகையால் $W + W_1 = 2n$ P ஆகும்.

அல்லது $\frac{W + W_1}{P} = 2n$ ஆகும்.

கீழ்க்கப்பியின் நிறை மிக அற்பமாயிருக்க, W-வை நோக்க அதைத் தள்ளிவிடக் கூடுமானல்

$\frac{W}{P} = 2n$ ஆகும்.


படம் 88

எனவே இத்தகைய சகடைகளின் அமைப்பினது இயந்திரசாதகம் $2n$ ஆகும்.

சகடைகளை ஏக-இருசு கொண்டனவாக அடுத்தடுத்தும் பொருத்தி வைக்கலாம். முன்கண்ட கணக்கீடுகளே இதற்கும் பொருந்தும். (படம் 88).

முன்போலவே வேலைத் தத்துவத்தை யடிப்படையாகக்கொண்டும் இதன் இயந்திரசாதகத்தைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

W என்னும் எடை $x$ என்னும் தூரம் மேலேறுவதாகக்கொள்வோம். இதற்கான வேலை $Wx$ ஆகும். இதனல் மேலேயுள்ள $2n$ சரட்டின் பகுதிகள் ஒவ்

வொன்றும் $x$ அளவு குறைவதால், P என்னும் விசை $2nx$ தூரம் நகரவேண்டிவரும். இதற்கான வேலை $2nx.P$ ஆகும். எனவே வேலைத்தத்துவத்தின்படி

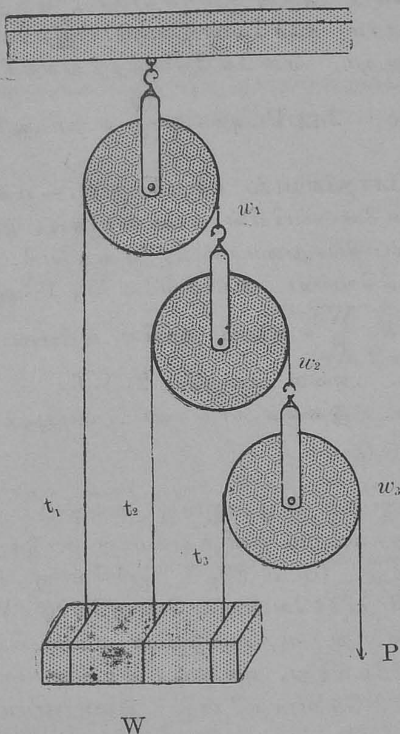
$$W.x = 2nx.P \text{ அல்லது } \frac{W}{P} = 2n \text{ ஆகும்.}$$

பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்:—முன்னே கூறியதுபோலவே கப்பியின் எடையை ஈடிட்டுவிட்டு சிக்கலை நீக்கப் பொதுமைகண்டு, முறையே 1, 2, 3.......$n$ சகடைகள்கொண்ட கப்பிகளிலே W, P ஆகியவற்றை அளவிட்டு $\frac{W}{P}$ என்னும் தகவின் மதிப்பை முறையே காணவும். அவை முறையே 2, 4, 6, .........$2n$ ஆக இருக்கும். இதனால் நாம் கண்ட முடிபு சரியென்பது விளங்கும்.

சகடைகளின் மூன்றவது அமைப்பு:—இதில் ஒவ்வொரு சகடையும் தனித்தனியான சரடுகளால் தாங்கப்படுகிறது. (படம் 89). ஒவ்வொரு சரட்டிலும் ஒரு நுனி தூக்கவேண்டிய பொருளோடு (W) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. மற்றொருமுனை சகடையின்மேலாகச் சுற்றிக் கீழேவந்து, அதற்கடியில் உள்ள சகடையினது கப்பியின் மேற்புரத்தோடு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. கடைசிச்சரட்டின் கடைசி முனையில் P என்னும் விசை பிரயோகிக்கப்படும். மேலேயுள்ள சகடையைச்சுற்றிச் செல்லும் சரட்டை முதலாகக்கொண்டு, வரிசையாகக் கீழேயுள்ள சரடுகளின் பிருக்கள் முறையே $t_1$, $t_2$, $t_3$,......$t_n$ எனக்கொள்வோம். எல்லா பிருக்களும் சேர்ந்து எடையாகிய W-வைத் தாங்குகின்றன.

எனவே $W = t_1 + t_2 + t_3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

$t_{n-1} + t_n$ ஆகும்.




படம் 89

ஆனல் $t_n = P$ என்பதை நாமறிவோம்

$t_{n-1} = 2t_n = 2P$

அவ்வாறே

$t_{n-2} = 2t_{n-1} = 4P$

... ... ...

... ... ...

$t_2 = 2t_3 = 2^{n-2} P$

$t_1 = 2t_2 = 2^{n-1} P$ ஆகும்.

எனவே $W = 2^{n-1} P + 2^{n-2} P + 2^{n-3} P \ldots\ldots\ldots \ldots\ldots\ldots 4P + 2P + P.$

அல்லது $W = P \; (1 + 2^1 + 2^2 + 2^3 \ldots\ldots\ldots \ldots\ldots\ldots 2^{n-3} + 2^{n-2} + 2^{n-1}$ ஆகும்).

ஆனால் $1 + 2^1 + 2^2 + 2^3 \ldots\ldots\ldots 2^{n-1} =$
$2^n - 1$ ஆகும்.

எனவே $W = P\,(2^n - 1)$ அல்லது

இயந்திரசாதகம் $\frac{W}{P} = 2^n - 1$ ஆகும்.

$w_1, w_2 \ldots\ldots w_n$ என்னும் சகடைகளின் எடைகளையும் உடன் கூட்டிக்கொண்டால்

அவற்றின் மொத்த விசை $w_n\,(1+2+2^2 \ldots\ldots 2^{n-2})$
$+ \; w_{n-1}\,(1 + 2 + 2^2 \ldots\ldots\ldots 2^{n-3}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$
$+ \ldots\ldots\ldots w_2$ என்றாகும்.

இவற்றையெல்லாம் P-யோடு கூட்டிக்கொண்டால்
$W = P(2^n - 1) + w_n(2^{n-1} - 1) + w_{n-1}(2^{n-2} - 1) \ldots\ldots$

இயந்திரசாதகம்

$$\frac{W}{P} = (2^n - 1) + \frac{w_n}{P}\,(2^{n-1} - 1) +$$

$$\frac{w_{n-1}}{P}\,(2^{n-2} - 1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

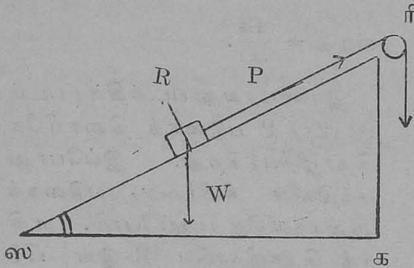
$$\ldots\ldots\ldots \frac{w_2}{P}$$ ஆகும்.

இதிலிருந்து நாம் சகடுகளின் நிறையினால் இயந்திர சாதகம் மிகைப்படுகிறது என்பதைத் தெரிந்து கொள்கிறோம். ஆனால் எல்லாவற்றுக்கும் மேலேயுள்ள சகடையின் நிறையாகிய $w_1$ மட்டும் இதில் தலையிடுவதில்லை. மேலும் இயங்காததாகிய முதல் சகடை ஒழிந்த ஏனையவை, முறையே படிப்படியாக அதிக நிறை கொண்டவையானால், இயந்திர சாதகம் உச்சநிலையை அடைகிறது என்றும் தெரிந்துகொள்கிறோம்.

சாய்வுசாரம் (inclined plane) :—இது கனமான பொருள்களைக் கீழிருந்து மேலேற்றுவதற்காக ஏற்பட்டதொரு சாதனம். படுக்கையிலும் நிமிர்வையிலும் நில்லாது சாய்ந்திருக்கும் ஒரு நெகிழாத தளமே சாய்வுசாரம் எனப்படும். மேலே தூக்கவேண்டிய பொருளை இதன்மீது அடிப்பாகத்தில் வைத்து அதை ஒரு கயிற்றால் பிணைத்து, கயிற்றின் மற்றொரு முனையை மேனோக்கித் தளத்திற்கு இணையாக இழுக்கப்படும். இதில் பொருளினது நிறையின் ஒரு பகுதியை சாரத்தின் 'எதிர்த்தொழில்' (reaction) தாங்கிவிடுவதால், எளிதாக ஒரு சிறிய சக்தியைக்கொண்டு பொருளை மேலேற்றமுடிகிறது. ஆய்வுச்சாலையில் சோதனைக்காக வைக்கப்பட்டிருக்கும் சாய்வுசாரமென்னும் சிறு கருவியை வருணித்துவிட்டு இதன் அடிப்படையான தத்துவத்தைப்பற்றி விசாரிப்போம்.

(படம் 90 (1)). ஏறக்குறைய 18 அங்குல நீளமும் 4 அங்குல அகலமும்கொண்ட ஸரீ என்னும் மெல்லிய பலகை, ஸக என்னும் மற்றொரு பலகையோடு கீலினால் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஸக என்னும் பலகை ஒரு படுகை மேஜையோடு பொருத்தபபட்டிருக்கும். இதைப் பீடமென்று சொல்லுவார்கள். ஸரீ-யின் சாய்வை நமக்கு வேண்டியபடி மாற்றிக்கொள்ள ஓர்

சாதனமும் உண்டு. சில கருவிகளில் ஸரீ-யிலே நெடுக ஒரு நீண்ட துவாரமிருப்பதும் உண்டு. இதில் கையாளப்படும் எடை ஒரு பித்தளை உருளையாகும். இவ்வுருளை ஸரீ-யின்மீது பரப்பப்பட்டுள்ள ஒருகண்ணாடிப் பலகையின் மீது உருண்டு செல்லும்.




படம் 90 (1)

இதிலே பிணைக்கப்பட்ட ஒரு சரடு ஸரீ-க்கு இணையாக மேனோக்கிச் சென்று, ரீ என்னும் இடத்திலே பொருத்தப்பட்டுள்ள ஒரு இயங்காத சகடையின் மேலாகச்சுற்றி கீழே ஒரு தட்டோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இப்போது நாம் உருளையின் சம நிலைமையைப்பற்றிச் சிறிது விசாரிப்போம்.

சக்திப்பகுப்பு முறை :—படுகையினின்று சாரம் சாய்ந்திருக்கும் கோணம் $\alpha$ என்று கொள்வோம். எனவே உருளையின் எடையாகிய W தொழிற்படும் திசைக்கும், தளத்திற்கு லம்பமான திசைக்கும் இடைப்பட்ட கோணமும் $\alpha$ ஆகும். எனவே உருளை எடையின் பிரிநிலை, சாரத்திற்கு லம்பமான திசையிலே $W \cos \alpha$ ஆகும். சாரத்தின் திசையிலே இதன் பிரிநிலை $W \sin \alpha$ ஆகும். எனவே

$$P = W \sin \alpha$$

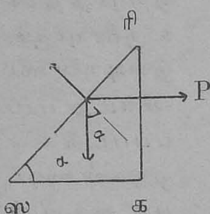
மற்றும் சாரத்தின் எதிர்த்தொழிலாகிய

$$R = W \cos \alpha$$ ஆகும்.

ஆகையால் இதன் இயந்திரசாதகம்

$$\frac{W}{P} = \frac{1}{\sin \alpha} = \frac{\text{ஸரி}}{\text{ரிக}}.$$ ஏனெனில்

$$\sin \alpha = \frac{\text{ரிக}}{\text{ஸரி}}.$$



படம் **90** (2)

இரண்டாவது படத்தில் (படம் 90 (2)) P படுகைத் திசையிலே தொழிற்படுகிறது. இப்போது சக்திகளை நிமிர்வை, படுகைத் திசைகளிலே பகுப்போம். எதிர்த் தொழிலாகிய R-இன் பிரிநிலைகள் முறையே

$R \cos \alpha$, $R \sin \alpha$ ஆகும். எனவே

$$W = R \cos \alpha$$

$$P = R \sin \alpha$$

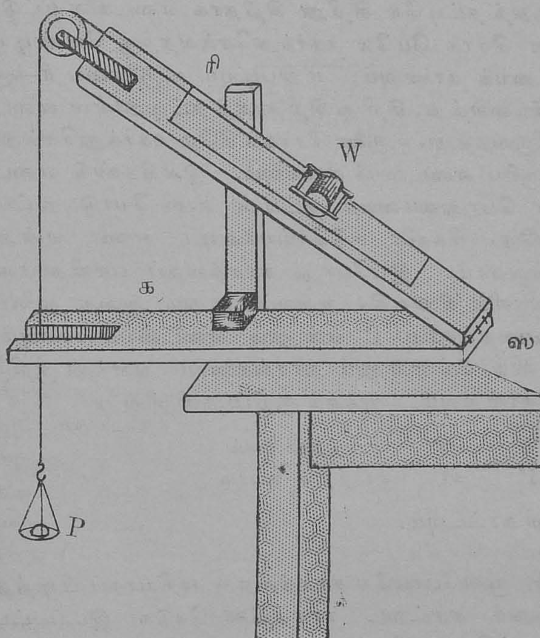
$$\therefore \frac{W}{P} = \cot \alpha = \frac{\text{ஸக}}{\text{கரி}}$$

வேலைத்தத்துவ முறை :—உருளை P-யினால் ஸ-விலிருந்து ரி வரை நகர்த்தப்படுவதாகக்கொள்வோம். எனவே P சாரத்திற்கு இணையாகத் தொழிற்பட்டால் P-யினால் செய்யப்பட்ட வேலை P × ஸரி ஆகும். அடிவாரத்திற்கு இணையாகத் தொழிற்பட்டால் அது செய்யும்வேலை P × ஸக ஆகும். இந்த இரண்டு வகைகளிலும் W-வின்மீது செய்யப்பட்ட வேலை W × ரிக யாகும். மற்றும் உருளை R என்னும் சக்தியின் திசைக்கு லம்பமான திசையிலேயே இயங்குவதால் அச்சக்தி செய்தவேலை சூனியமாகும். எனவே P ஸரி-க்கு இணையாக நிற்கும்போது P × ஸரி = W × ரிக. அல்லது இயந்திரசாதகம் $\frac{W}{P} = \frac{\text{ஸரி}}{\text{ரிக}} = \frac{1}{\sin \alpha}$ ஆகும்.

P, ஸக-வுக்கு இணையாக நிற்கும்போது P × ஸக = W × ரிக அல்லது இயந்திரசாதகம்

$$\frac{W}{P} = \frac{\text{ஸக}}{\text{ரிக}} = \cot \alpha \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, ஒரு சிறிய சக்தியைக்கொண்டு அதை விடப் பெரியதொரு எடையைச் சாய்வுசாரத்தின் மூலமாக எளிதில் உயரத் தூக்கிவிடலாமென்று தெரிகிறது.




படம் 91

பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல் :— (படம் 91). முதலில் ஒரு வில் தராசினுதவியால் உருளையின் எடை

யைக் கண்டுபிடிக்கவும். சாரத்தைச் சௌகரியமான தொரு சாய்விலே உறுதியாக நிறுத்திவைக்கவும். உருளையிலே ஒரு சரட்டைக் கட்டி, அதைச் சாரத்தின் மீது அதன் அடிப்பாகத்தில் வைத்து, சரட்டை ரீ என்ற முனையில் உள்ள இயங்காத சகடையின் மேலாகச் சுற்றி, அதன் நுனியில் ஒரு லேசான தட்டைக் கட்டித் தொங்கவிடவும். சிக்கலைப் போக்குவதற்காகப் பின் கண்டவாறு செய்யவும். உருளையை ஸ-வுக்கு அருகில் வைத்துத் தட்டிலே சிறிது சிறிதாக எடைகளையிட்டு, உருளை சீராக மேலே நகர்ந்துசெல்வதற்கு வேண்டிய எடையைக் காணவும். மறுபடியும் உருளையை ரீ-க்கு அருகில்வைத்து, சிறிது சிறிதாகத் தட்டிலுள்ள எடைகளைக்குறைத்து, உருளை சீராகக் கீழே நகர்ந்துசெல்லு வதற்குரிய எடையைக் காணவும். இவ்விரண்டு எடைகளின் பொதுமையைத் தட்டின் எடையோடு கூட்ட வருவதே, சிக்கலை ஈடுசெய்யக்கூடிய எடை என்று கொள்ளலாம். இப்போது சாரத்தைப் பலவிதமான சாய்வுகளில் நிறுத்தி, அவ்வப்போதும் அதை துலைப் படுத்துவதற்குரிய P என்னும் எடையைக்காணவும். ஸரி, ஸக, ரீக என்னும் தூரங்களையும் அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். இந்தக் குறிப்புகளினின்று

$$\frac{W}{P} = \frac{\text{ஸரி}}{\text{கரி}} = \frac{\text{சாரத்தின் நீளம்}}{\text{சாரத்தின் உயரம்}}$$

என்று காட்டவும்.

(2) முன்போலவே சாரத்தை உறுதியாகப் பிடித்து வைத்துச் சரட்டை சாரத்தின் நெடுக இடப்பட்ட துவாரத்தின் வழியாக இழுத்து, மற்றொரு இயங்காத சகடையின் மேலாகச்சுற்றி, அதன் நுனியில் முன் போலவே ஒரு லேசான தட்டைக்கட்டித் தொங்கவிடவும். சிக்கலின் விளைவை முன்னே கூறியதுபோலவே

கண்டு P-யிலிருந்து கழித்துவிடவும். $\frac{W}{P}$ என்னும் இயந்திர சாதகத்தைக் கண்டு அது

$$\frac{\text{ஸக}}{\text{கரி}} = \frac{\text{சாரத்தின் பீடம்}}{\text{சாரத்தின் உயரம்}}$$

என்று காட்டவும்.

---

## வினாக்கள்

1. நெம்புகோல்களின் தத்துவங்களை விளக்குக. பலவகை நெம்புகோல்களுக்கும் ஒவ்வொரு உதாரணம் காட்டி அவற்றின் சாதகங்களை விவரித்துக்கூறவும்.

(ஆக்ஸ். 1927)

2. ஒரு தராசின் அமைப்பு விவரத்தை எடுத்துக் கூறுக.

ஒரு பொருளை எவ்வாறு நீ நிறுப்பாய் என்பதை நீ காணும் பிரேட்சைகளின் முழு விவரத்தோடு எடுத்துக்கூறுக.

ஒவ்வாத சிறைகளையுடையதொரு தராசையும் எடைப் பெட்டியையும்கொண்டு, எவ்வாறு ஒரு பொருளின் உண்மையான எடையை நீ காணுவாய் என்பதை விவரிக்கவும்.

(அண்ணமலை 1932)

3. ‘ஒரு சாமானிய யந்திரத்தின் சாதகம்’ என்னும் பதத்திற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. ஒரு சாய்வு சாரத்திற்கு இதை எவ்வாறு நிர்ணயிக்கலாமென்று காட்டுக.

(அண்ணமலை 1933)

4. ‘சக்தியின் திருப்பியல்’ என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. லேசான நீண்ட AB என்னுமொரு நெம்புகோல் A என்ற இடத்திலே பிணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. A-யிலிருந்து 4 அங். தூரத்திலே இது ஒரு கொதிகலத்தின் ஒருவழிக்கதவோடு சேர்க்கப்பட்டிருக்கிறது. கொதிகலத்திலே இறுக்கம் 60 பவு./ச. அங். ஆனபோது கதவு திறக்காதிருக்க வேண்டுமானல், B-யிலே குறைந்தது எவ்வளவு சக்தி தொழிற்

படவேண்டும். கதவின் பரப்பு 6 சங். ஆகும். செம்பு கோலின் எடையைப் புறக்கணித்துவிடலாம்.

(சென்னை 1928 செப்.)

5. 1200 கிராம் நிறை கொண்டதொரு உருளை படுகைக்கு 30° சாய்ந்துள்ள ஒரு சாய்வு சாரத்தின் மீது வைக்கப்பட்டது. சாரத்தின் உச்சியிலுள்ள ஒரு சகடையின் வழியாக சாரத்திற்கு இணையாகச் செல்லும் நூலினால் இது இழுக்கப்படுகிறது. நூலின் மற்ற முனையில் ஒரு தராசுத்தட்டு கட்டித் தொங்குகிறது. உருளை சமநிலையில் இருப்பதற்கு தட்டில் எவ்வளவு எடை வைக்கவேண்டுமென்று காண்க. மேலும் தட்டில் 10 கிராம் அதிக எடையை இட உருளையின் முடுக்கம் யாதாகும்? தட்டின் எடை 50 கிராம் என்று கொள்ளவும்.

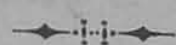
(சென்னை 1929.)

———

# பௌதிக நூல்

## நீர்-நிலையியல்

# அத்தியாயம் 11



## செறிவும் ஒப்புமைச்செறிவும்
## (Density and Specific Gravity)

பதார்த்தங்கள் திட, திரவ, வாயுவென்னும் மூன்று நிலைகளில் இருக்கின்றன. திடப்பொருள்களெல்லாம் தமக்கென ஓர் குறிப்பிட்ட உருவமும் பருமையுமுடைய கட்டிப்பொருள்களாகும். திரவங்கள் நீர்த்தன்மை வாய்ந்தன. இவற்றின் பருமைகள் மாறாதனவாயினும் உருவங்கள் மாறும் தன்மைவாய்ந்தனவாகும். இவை பெரும்பாலும் தம்மை ஏற்றுக்கொண்டிருக்கும் கலத்தின் அகவடிவை (Shape)-யே கொண்டு நிற்கும். ஆனால் வாயுப்பொருளுக்கோ குறிப்பிட்ட வடிவமும் இல்லை; பருமையும் இல்லை. அது தனக்கு அகப்படக் கூடிய எல்லா இடங்களிலும் பரவும் தன்மைவாய்ந்தது. திரவங்களும் வாயுக்களும் பொதுவாக ஓடிகள் (fluids) எனப்படும். புனலிகளின் சம நிலைமையைப்பற்றி விசாரிக்கும் பௌதிகப் பகுதியே புனல்-நிலையியல் அல்லது நீர்-நிலையியல் எனப்படும். புனல் நிலையியலைப்பற்றி விரிவாகக் கூறுவதற்கு முன்னால் செறிவு (Density), ஒப்புமைச்செறிவு (Relative Density) அல்லது கவர்ச்சி உரிமை (Specific Gravity) என்னும் பதங்களையும், அவற்றின் பொருளையும், அவற்றை அளக்கும் முறைகளையும் நாம் தெரிந்துகொள்ளவேண்டுவது அவசியம். எனவே அவற்றைப்பற்றிச் சிறிது விரிவாகக் கூறியபின்னர் நேராகப் புனல்-நிலையியலை விசாரிக்கப்புகுவோம்.

செறிவு :—செறிவு என்பது பதார்த்தத்திலே உள்ள நெருக்கத்தைக்குறிக்கும். ஒரு அலகுப்பருமைகொண்ட சீரொத்த (homogeneous) பொருளின்

நிறையையே செறிவின் அளவாகக் கொள்வது வழக்கம். எனவே V பருமைகொண்ட ஒரு பொருளின் நிறை M ஆனல், அதன் செறிவு ஒரு அலகுப்பருமைக்கு $\frac{M}{V}$ அலகு நிறைகள் ஆகும். எனவே செறிவைப் பருமையலகையும் நிறையலகையும் கொண்டே எடுத்துரைக்கவேண்டும். மெட்ரிக் திட்டத்திலே இது ஒரு க. செ. மீட்டருக்கு இத்தனை கிராம்கள் என்று கூறப்படும். ஒரு க. செ. மீட்டர் இரும்பின் நிறை 7·76 கிராம் ஆகும். எனவே இரும்பின் செறிவு 7·76 கிராம் ஒரு க. செ. மீட்டருக்கு என்று எடுத்துரைக்கப்படும். பிரிட்டிஷ் முறையில் செறிவு ஒரு க. அடிக்கு இத்தனை பவுண்டுகள் என்று கூறப்படும். ஒரு பதார்த்தத்தின் செறிவை வெறும் எண்ணல்மட்டும் குறிப்பிடமுடியாது. பருமையலகையும், நிறை அலகையும் உடன் கூறியே தீரவேண்டும் என்பதை நினைவுகூறவேண்டும். வாயுக்களின் செறிவை ஒரு க. செ. மீட்டருக்கு இத்தனை கிராம் என்றோ அல்லது ஒரு லிட்டருக்கு இத்தனை கிராம் என்றோ கூறுவது வழக்கம். வாயுவின் பருமை அதன் இறுக்கம், சூடு, ஆகியவற்றின் மாறுபாட்டால் எளிதில் மாறுபடக்கூடுமாதலால் அதன் செறிவைக் கூறும்போது, அச்செறிவு காணப்பட்டபோது இருந்த இறுக்கம், சூடு, ஆகிய இரண்டையும் உடன் கூறியே தீரவேண்டும். உதாரணமாக காற்றின் செறிவு $0°C$ சூட்டிலே. 76 செ. மீ. பாதரச இறுக்கத்திலே, ஒரு லிட்டருக்கு 1.293 கிராம் ஆகும். வெவ்வேறு பதார்த்தங்களின் செறிவு வெவ்வேருக இருக்கும். ஒரு க. செ. மீட்டர் தண்ணீரின் நிறை $4°C$ சூட்டில் ஒரு கிராம் இருக்கிறது, எனவே இந்தச் சூட்டிலே தண்ணீர் மெட்ரிக் முறைப்படி ஒரு அலகுச் செறிவைக்கொண்டிருக்கிறது. பொதுவாய் எப்போதும் சாமானிய சூடுகளிலே ஒரு

க. செ. மீட்டர் தண்ணீரின் நிறை ஒரு கிராம் என்று கொள்வது வழக்கம்.

ஒப்புமைச்சேறிவு அல்லது கவர்ச்சி உரிமை :—சிலபோது நாம் ஒரே பருமைகொண்ட பல பதார்த்தங்களின் ஒப்புமை நிறைகளைப்பற்றியே கவனிக்கவேண்டியிருக்கிறது. ஓரளவு இரும்பின் நிறை அதே பருமை கொண்ட நீரைவிட 7·76 மடங்குகொண்டது என்ற ஞானமே சில சமயங்களில் போதுமானது. பொதுவாக ஒரு கட்டளைப்பொருளை எடுத்துக்கொண்டு அதன் ஓரளவுகொண்ட நிறையோடு, அதேயளவுகொண்ட பல வேறு பொருள்களின் நிறைகளை ஒப்பிடுவது வழக்கம். இதற்காக 4°c சூட்டில் உள்ள தண்ணீரைக் கட்டளைப் பொருளாகக்கொள்வார்கள்.

ஒரு பதார்த்தத்தின் ஒப்புமைச்சேறிவு :—குறிப்பிட்ட பருமைகொண்ட ஒரு பதார்த்தத்தின் நிறைக்கும், அதே பருமைகொண்ட 4°c சூட்டில் உள்ள தண்ணீரின் நிறைக்குமுள்ள தகவே, பதார்த்தத்தின் ஒப்புமைச் செறிவு எனப்படும். ஒப்புமைச்செறிவை வேறொரு காரணம்பற்றி கவர்ச்சி உரிமை என்று கூறுதலும் உண்டு.

ஒரு பொருளின் நிறை W என்றும், அதனளவு பருமை கொண்ட தண்ணீரின் நிறை $w$ என்றும், கவர்ச்சி உரிமை $\sigma$ என்றும் கொண்டால், $\sigma = \frac{W}{w}$ ஆகும். கவர்ச்சி-உரிமை இரண்டு நிறைகளுக்கிடைப்பட்ட தகவேயாதலால் அது ஒரு வெறும் எண்ணேயாகும். அதன் மதிப்பு, பருமை, நிறையலகுகளைச் சார்ந்திருக்கவில்லை. எனவே கவர்ச்சி-உரிமை எந்தத் திட்டத்தில் அளக்கப்பட்டாலும் ஒரே யளவினதாகவே இருக்கும். ஒரு க. அங்குலம் கொண்ட இரும்பின் நிறை, ஒரு க. அங்

குலம் கொண்ட தண்ணீரின் நிறையைப்போல் 7·76 மடங்கே இருக்கும். இந்த நிறைகளை கிராம்களில் அளவிட்டாலும் சரி, பவுண்டுகளில் அளவிட்டாலும் சரி, அல்லது வேறு எந்த நிறையலகிலே அளவிட்டாலும் சரி, இந்த 7·76 மடங்கு என்னும் உறவுமட்டும் மாறுதலடையாது.

$$\text{கவர்ச்சி-உரிமை} = \frac{\text{ஒரு பொருளின் நிறை } W}{\text{அதே பருமைகொண்ட தண்ணீரின்நிறை } w}$$

இந்த பின்னத்தின் மேலெண் கீழெண்களைப் பருமையாகிய $v$-யால் வகுக்க.

கவர்ச்சி உரிமை =

$$\frac{\text{ஒரு பொருளின் நிறை } W/\text{அதன் பருமை } v}{\text{அதே பருமைகொண்ட தண்ணீரின் நிறை } w/\text{அதன் பருமை } v}$$

$$= \frac{\text{பொருளின் செறிவு}}{\text{தண்ணீரின் செறிவு}} \text{ ஆகும்.}$$

மெட்ரிக் திட்டத்திலே தண்ணீரின் செறிவு ஒன்று ஆகையால், அத்திட்டத்திலே எல்லாப் பதார்த்தங்களின் கவர்ச்சி-உரிமையும் அவ்வவ்வற்றின் செறிவுகளுக்கு எண்ணளவில் சமானமாகும். ஆனால் பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலே இந்த விதி செல்லாது.

சேறிவையும் கவர்ச்சி உரிமையும் காண:—ஒழுங்கான வடிவியல் உருவங்களைக் கொண்ட கட்டிப்பொருள்களின் பருமையை அவற்றின் அளவைகளை அளந்து வெகு எளிதிலே கணக்கிட்டுவிடலாம். இவ்வாறில்லாத கட்டிப்பொருள்களை வழியும் கலங்களில் இட்டு, அவற்றிலிருந்து வெளிப்படும் நீரின் பருமையையளந்து பருமை காணலாகும். இக்கட்டிப் பொருள்கள் மிதக்கக் கூடியனவாய் இருப்பின், அவற்ருேடு ஒரு நீர் முழுக்கியைப் பிணைத்துக் கட்டியோ, அல்லது ஒரு நீண்ட மெல்

லிய ஊசியின் முனையினாலோ நீரிலே முழுகச்செய்து அளவிடலாம். இக்கட்டிப்பொருள்களின் நிறையை ஒரு தராசினுதவியால் எளிதில் கண்டுவிடலாம். எனவே கட்டிப்பொருள்களின் செறிவைக் காண்பது எளிதாயிற்று.

இவ்வாறே ஒரு பூரகத்திலிருந்து (Burette) ஒரு குறிப்பிட்ட பருமை கொண்ட திரவத்தை வெளியிட்டு, அதை ஒரு நிறையிட்ட கலத்தில் ஏந்தி, நிறுத்து, திரவங்களின் செறிவைக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

திரவங்களின் செறிவையும், மெல்லிய தூளாக உள்ள கட்டிப் பொருள்களின் செறிவையும், செறிவுக் கலம் (Density bottle) என்னும் சாதனத்தின் உதவியால் காணலாம். அது ஒரு குறிப்பிட்ட பருமை கொண்ட திரவத்தையுட்கொள்ளும்படி செய்யப்பட்டதொரு கண்ணாடிக் கலமாகும். இதன் வாய் நீண்டதொரு தேய்த்த கண்ணாடி அடைப்பானால் மூடப்பட்டிருக்கும். இவ்வடைப்பானிலே நெடுக சன்னமானதொரு துவாரம் இருக்கும்.

இதை உபயோகிக்கும்போது அடைப்பானைத் திறந்து, செறிவு காணவேண்டிய திரவத்தால் அதை நிரப்பவும். பிறகு அடைப்பானை இட்டு, வழிந்து வெளிவரும் திரவமனைத்தையும் ஈரம் போகும்படி நன்றாகத் துடைத்துவிடவும். இவ்வாறு திரவம் நிரம்பி இருக்கும்போதும்சரி, சிறு கட்டித்துகள்களும் திரவமுமாக நிரம்பி இருக்கும்போதும்சரி, கலத்தினுள்ளே எந்த இடத்திலும் காற்றுக் குமிழிகள் இல்லாதிருக்கும்படி பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும்.

செறிவுக்கலத்தினுதவியால் ஒரு திரவத்தின் ஒப்புமைச்செறிவு காண :—செறிவுக் கலத்தைத் துப்புரக்

கழுவி சுத்தம்செய்யவும். பிறகு அதை நன்ருகக் காய வைக்கவும். ஒரு துருத்தியினுதவியால் அதனுள் காற்றைச் செலுத்திக்கொண்டே, கலத்தை மெதுவாக அனலிலே சூடு காட்டினுல், அது விரைவிலே சுத்தமாய்க் காய்ந்துவிடும். இவ்வாறு சூடு காட்டும்போது கலத்தை விரல்களினிடையே சுற்றிக்கொண்டே இருக்க வேண்டும். இல்லாவிட்டால் அதில் ஒரு பக்கத்தில் மட்டும் அதிக சூடேறக் கலம் வெடித்துவிடக்கூடும். அது காய்ந்து நன்ருகக் குளிர்ந்தபின்பு, அடைப்பானுடன் அதை ஒரு தராசின் இடதுதட்டில் வைத்து, அதன் நிறையை ஒரு செண்டி கிராமுக்குச் சரியாகக் காணவும்.

அது $b$ கிராம் என்று கொள்வோம்.

இப்போது அந்தக் கலத்திலே தண்ணீரை நிரப்பி, அடைப்பானை இட்டு, வெளிப்புறமெல்லாம் நன்ருகக் காயும்படி துடைத்துவிட்டு, மறுபடியும் அதன் நிறையைக் காணவும். அதன் நிறை $W$ கிராம் என்று கொள்வோம். எனவே கலத்தில் நிரம்பி இருக்கும் தண்ணீரின் நிறை $(W-b)$ கிராம் ஆகும். தண்ணீரைக் கொட்டிவிட்டு, மறுபடியும் கலத்தை நன்ருகக் காய வைத்துப் பின்னர் அதிலே நாம் செறிவு காணவேண்டிய திரவத்தை இட்டு, மேற்புறத்தை நன்ருகக் காயும்படி துடைத்துவிட்டு, மறுபடியும் அதன் நிறையைக் காணவும். இந்நிறை $w$ என்று கொள்வோம். எனவே கலத்தை நிரப்பி நிற்கும் திரவத்தின் நிறை $(w-b)$ கிராம் ஆகும். ஆகையால் திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவு $\left(\dfrac{w-b}{W-b}\right)$ ஆகும்.

இதே முறையைக் கையாண்டு தண்ணீரில் முழுகக்கூடியதும், அதில் கரையக்கூடாததுமான துகள்களான கட்டிப்பொருள்களின் ஒப்புமைச் செறிவுகளைக்

காணலாகும். உதாரணமாக சிறு ஈய ரவைகள் அல்லது மணல் இவற்றின் ஒப்புமைச்செறிவைக் காண இம் முறை பயன்படும்.

அதைச்செய்யும் முறை வருமாறு:—முன்போலவே ஒரு செறிவுக்கலத்தைச் சுத்தம்செய்து, அதன் நிறையாகிய $b$-யைக் காணவும். பிறகு அதில் ஏறக்குறைய மூன்றிலொரு பங்கு நிறையும்படி ஈய ரவைகளையிட்டு, இப்போது கலத்தின் நிறையாகிய $W_1$-ஐக் காணவும். ஈய ரவைகளின் நிறைமட்டும் தனியாக $(W_1 - b)$ ஆகும். இப்போது அதனுள் தண்ணீரைப்பெய்து நிரப்பி, மறுபடியும் அதன் நிறையாகிய $W_2$-வைக் காணவும்.

நாம் நிரப்பிய தண்ணீரின் நிறைமட்டும் $(W_2 - W_1)$ ஆகும். இப்போது தண்ணீரையும் ஈய ரவைகளையும் வெளியே கொட்டிவிட்டு, கலத்தில் தண்ணீரைமட்டும் நிரப்பி, மறுபடியும் அதன் நிறையாகிய $W$-ஐக் காணவும். எனவே கலத்தை முற்றிலும் நிரப்பக்கூடிய தண்ணீரின் நிறை $(W - b)$ ஆகும். $(W_2 - W_1)$-க்கும் $(W - b)$-க்கும் உள்ள வேற்றுமையே, ஈய ரவைகளால் அடைக்கப்பட்ட இடத்தை நிரப்பக்கூடிய தண்ணீரின் நிறையாகும்.

ஈய ரவைகளின் ஒப்புமைச்செறிவு

$$= \frac{\text{அவற்றின் நிறை}}{\text{அவற்றின் பருமைகொண்ட தண்ணீரின் நிறை}}$$

$$= \frac{W_1 - b}{(W - b) - (W_2 - W_1)}.$$

இவ்வாறாகக் கட்டிப் பொருள்களின் ஒப்புமைச் செறிவு காணப்படும். நாம் எடுத்துக்கொண்ட கட்டிப் பொருள் நீரில் கரையக்கூடியதாய் இருப்பின், அப்

பொருள் கரையக்கூடாததான ஒரு திரவத்தைக் கையாண்டு அதனோடு ஒப்பிட்டு, கட்டிப்பொருளின் செறிவைக் காணலாகும். பிறகு மற்றொரு பரிசோதனையால் அத்திரவத்தின் செறிவை நீரோடு ஒப்பிட்டுக் கண்டு, முன்கூறிய கட்டிப்பொருளின் ஒப்புமைச் செறிவைக் கணக்கிடலாகும். உதாரணமாக நாம் சேப்புக் கந்தகையின் (copper sulphate) ஒப்புமைச்செறிவைக் காணவேண்டுமானால் அது டர்பென்டைனில் (Turpentine) கரையாதாகையால், அதை உபயோகித்து முதலில் டர்பென்டைனோடு ஒப்பிட்டு, செப்புக்கந்தகையின் ஒப்புமைச்செறிவைக் காணலாம்.

அது முன்போலவே $\dfrac{w_1 - b}{(w - b) - (w_2 - w_1)} = d_1$

ஆகும். இது

$\dfrac{\text{கட்டிப்பொருளின் செறிவு}}{\text{டர்பென்டைனின் செறிவு}}$. நாம் டர்பென்டைனின்

ஒப்புமைச்செறிவைக் கண்டால் அது

$d_2 = \dfrac{\text{டர்பென்டைனின் செறிவு}}{\text{தண்ணீரின் செறிவு}}$ ஆகும். ஆனால் நாம்

வேண்டுவது

$$d = \frac{\text{கட்டிப்பொருளின் செறிவு}}{\text{தண்ணீரின் செறிவு}}$$

எனவே

$$\frac{\text{கட்டிப்பொருளின் செறிவு}}{\text{டர்பென்டைனின் செறிவு}} \times \frac{\text{டர்பென்டைனின் செறிவு}}{\text{தண்ணீரின் செறிவு}}.$$

அதாவது $d_1 \times d_2 = d$ ஆகும்.

ஆகையால் நாம் டர்பேன்டைனோடு ஒப்பிட்டுக் கண்ட சேப்புக்கந்தகையின் ஒப்புமைச் சேறிவை

டர்பென்டைனின் ஒப்புமைச் செறிவோடு பெருக்க, செப்புக்கந்தகையின் ஒப்புமைச்செறிவு கிடைக்கும்.

*பருமையும் செறிவும் தெரிந்தனவாகிய பல வேறு பொருள்கள் கூடியதொரு கலவையின் நிறையையும், அதன் பயனிலைச்செறிவையும் காண:—*

$v_1, v_2, v_3, v_4$............என்பன பல வேறு பொருள்களின் பருமைகள் என்றும் $d_1, d_2, d_3, d_4$............ என்பன முறையே அவற்றின் செறிவுகள் என்றும் கொள்வோம். இப்பல வேறு பொருள்களும் கலக்கப்பட்டபோது அவற்றினிடையே யாதொரு இரசாயன மாறுபாடும் நிகழ்வதில்லையென்று கொள்வோம். இப்போது கலவையின் பருமை இப்பல வேறு பொருள்களின் தனித்தனி பருமைகளின் கூட்டுத்தொகையாகும். அது V என்றும், $d$ என்பது கலவையின் பயனிலைச்செறிவு என்றும் கொள்வோம். எனவே $V = v_1 + v_2 + v_3$............ஆகும்.

மற்றும் இக்கலவையின் மொத்த நிறை அப்பல வேறு பொருள்களினது நிறைகளின் கூட்டுத்தொகையேயாதலால்

$Vd = v_1 d_1 + v_2 d_2 + v_3 d_3 + v_4 d_4$.................. முதலியன.

$$\text{எனவே } d = \frac{v_1 d_1 + v_2 d_2 + v_3 d_3 \ldots\ldots \text{முதலியன}}{v_1 + v_2 + v_3 \ldots\ldots\ldots \text{முதலியன}}$$

கலக்கும்போது பருமை வேறுபட்டு V′ என்னும் அளவைக் கொண்டுவிட்டால், மேலேகண்ட உறவு பொய்த்துவிடும். ஆனால் அப்போதும்,

$V'd = v_1 d_1 + v_2 d_2 + v_3 d_3$........முதலியன என்னும் உறவுமட்டும் பொருந்தும்.

உதாரணமாக கலப்பினால் பருமை $k$ என்னும் பின்னத்தளவு குறைந்துவிட்டால் கலவையின் பருமை $k(v_1 + v_2 + v_3$..........முதலியன).

கலவையின் செறிவு $d$

$$= \frac{v_1 d_1 + v_2 d_2 + v_3 d_3 \text{..........முதலியன}}{k(v_1 + v_2 + v_3 \text{............முதலியன}},$$

ஆகிவிடும்.

நிறைகளும் செறிவுகளும் அறிந்த பலவேறு பொருள்களின் கலவையினது பருமையையும் செறிவையும் காண :—

பலவேறு பொருள்களின் நிறைகள் முறையே $m_1, m_2, m_3$......முதலியன என்றும், அவற்றின் செறிவுகள் முறையே $d_1, d_2, d_3$........முதலியன என்றும் கொள்வோம். M என்பது கலவையின் நிறை என்றும், $d$ என்பது அதன் செறிவு என்றும் கொள்வோம். தனித்தனியான வெவ்வேறு பொருள்களின் பருமைகள் முறையே

$\frac{m_1}{d_1}, \frac{m_2}{d_2}, \frac{m_3}{d_3}$..........முதலியனவாகும். கலவையின் மொத்தப்பருமை

$\frac{M}{V}$ ஆகும். அதனால்

$$M = m_1 + m_2 + m_3 \text{........முதலியன}$$

$$\frac{M}{d} = \frac{m_1}{d_1} + \frac{m_2}{d_2} + \frac{m_3}{d_3} \text{........முதலியனவாகும்.}$$

$$\text{எனவே } d = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \text{.....முதலியன}}{\frac{m_1}{d_1} + \frac{m_2}{d_2} + \frac{m_3}{d_3} \text{........முதலியன}}$$

கலப்பினால் பருமை $k$ என்னும் பின்னத்தளவு குறைவுபட்டால் செறிவு

$$d = \frac{m_1 + m_2 + m_3 \text{............ முதலியன}}{k\left(\frac{m_1}{d_1} + \frac{m_2}{d_2} + \frac{m_3}{d_3} \cdots\right) \text{ முதலியன}}$$

ஆகும்.

உதாரணம் **1.** செறிவுக்கலத்தின் நிறை காலியா யுள்ளபோது 13·62 கிராம். நீர் நிரம்பியுள்ளபோது 38·62 கிராம். இதனுள்ளே சிறிது இருப்புத்தூளை இட இதன் நிறை 62.52 கிராம் ஆயிற்று. இவ்விருப் புத்தூளோடு தண்ணீரை நிரப்ப இதன் நிறை 81 கிராம் ஆயிற்று. இரும்பின் ஒப்புச்செறிவு காண்க.

செறிவுக்கலத்தின் தனி நிறை 13·62 கிராம்.

இருப்புத்தூளை யிட்டபின் கலத் தின் நிறை 62·52 கிராம்.

எனவே இட்ட இருப்புத்தூளின் நிறை 62·52—13·62 = 48·90 கிராம்.

நீர் நிரம்பிய செறிவுக்கலத்தின் நிறை = 38·62 கிராம்.

இதனோடு இருப்புத்தூளை வெளி யிலிட்டால் இருக்கக்கூடிய நிறை 38·62 + 48·90 = 87·52 கிராம்.

இருப்புத்தூளை உள்ளேயிட்டு நீர் நிரப்பியபோது இருந்த நிறை 81·00 கிராம்.

∴ இருப்புத்தூளினால் வெளியே தள்ளப்பட்ட நீர் அதாவது இருப்புத் தூளினளவு பருமைகொண்ட நீரின் நிறை = 87·52—81·00 = 6·52 கிராம்.

இருப்புத்தூளின் ஒப்புமைச்செறிவு

$$= \frac{\text{இருப்புத்தூளின் நிறை}}{\text{அதனளவு பருமைகொண்ட நீரின் நிறை}}$$

$$= \frac{48{\cdot}90}{6{\cdot}52} = \mathbf{7{\cdot}5.}$$



உதாரணம் **2**. வெண்கலம் (Bronze) என்பது ஒன்பது பங்கு செம்பும் ஒரு பங்கு வங்கமும் (Tin) கலந்ததொரு கலப்பு-உலோகம். செம்பின் ஒப்புச் செறிவு 8·94. வங்கத்தின் ஒப்புச்செறிவு 7·29. வெண் கலத்தின் செறிவைக் கணக்கிடுக. $x$ கிராம் வங்கமும் $9x$ கிராம் செம்பும் ஒரு வெண்கலப் பொருளிலே இருப் பதாகக் கொள்வோம்.

வங்கத்தின் செறிவு 7·29 கி./க. செ. மீ. எனவே $x$ கிராம் வங்கத்தின் பருமை

$$\frac{x}{7{\cdot}29} \text{ க. செ. மீ.}$$

செம்பின் செறிவு 8·94 க. செ. மீ. எனவே $9x$ கிராம் செம்பின் பருமை

$$\frac{9x}{8{\cdot}94} \text{ க. செ. மீ.}$$

∴ கலவையின் மொத்தப் பருமை

$$= \left(\frac{x}{7{\cdot}29} + \frac{9x}{8{\cdot}94}\right) \text{க. செ. மீ.}$$

கலவையின் மொத்த நிறை $10x$ கிராம்.

எனவே கலவையின் செறிவு

$$= \frac{\text{அதன் நிறை}}{\text{அதன் பருமை}} = \frac{10x}{\frac{x}{7{\cdot}29} + \frac{9x}{8{\cdot}94}}$$

$$\frac{10}{\frac{1}{7{\cdot}29} + \frac{9}{8{\cdot}94}} = 8{\cdot}74 \text{ கி./க. செ. மீ.}$$

உதாரணம் **3**. ஒரே பருமை கொண்ட இரண்டு பொருள்களைக் கலக்க, அக்கலவையின் ஒப்புமைச் செறிவு 4 ஆயிற்று. ஒரே நிறையுள்ள அதே இரண்டு

பொருள்களைக் கலக்க, அக்கலவையின் ஒப்புமைச் செறிவு 3 ஆயிற்று. அவற்றின் தனித்தனி ஒப்புமைச் செறிவுகளைக் காண்க.

அவற்றின் ஒப்புமைச் செறிவுகள் முறையே $x$, $y$ என்று கொள்வோம்.

$a$ க. செ. மீ. என்னும் ஒரே பருமை கொண்ட அவ்விரண்டையும் கலந்தால் கலவையின் நிறை $ax + ay$ கிராம் ஆகும்.

கலவையின் பருமை 2 $a$ க.செ.மீ. ஆகும்.

எனவே அதன் செறிவு $= \dfrac{ax+ay}{2a}$

$$\frac{x+y}{2} = 4 \text{ கணக்கின்படி} \qquad (1)$$

$w$ கிராம் நிறையுடன் ஒரே பருமை கொண்ட அவ்விரண்டையும் கலந்தால்

கலவையின் நிறை $2w$ கிராம் ஆகும்.

கலவையின் பருமையோ $\dfrac{w}{x}+\dfrac{w}{y}$ க.செ.மீ. ஆகும்.

எனவே அதன் செறிவு

$$\frac{2w}{\frac{w}{x}+\frac{w}{y}} = \frac{2}{\frac{1}{x}+\frac{1}{y}}$$

$$= \frac{2xy}{x+y} = 3 \text{ கணக்கின்படி} \qquad (2)$$

(1) இலிருந்து $x + y = 8$ என்றுகிறது (3)

(2) இலே (1)-ஐ ஈடிடவே $xy = 12$ என்றுகிறது (4)

(4)-இலிருந்து $y = \frac{12}{x}$

இதை (3) ல் ஈடிட $x + \frac{12}{x} = 8$

அல்லது $x^2 - 8x + 12 = 0$.

அல்லது $(x - 6)(x - 2) = 0$.

$x = 6$ அல்லது 2.

எனவே ஒரு பொருளின் ஒப்புமைச் செறிவு 6
மற்றொன்றின் ஒப்புச்செறிவு 2
} என்றாகும்.

## வினக்கள்

1. செறிவுக்கும் ஒப்புச் செறிவுக்கும் வேற்றுமை காண்க.

ஒரு செறிவு கலத்தையும், ஈயரவைகளையும் தராசையும் கொண்டு ஈயத்தின் ஒப்புச் செறிவை எவ்வாறு காணலாமென்று விவரிக்கவும். 150 கிராம் நிறையுள்ளதொரு பொருளை நீரிலே முழுக்கினல் 19 க. செ. மீ. தண்ணீர் வெளியேற்றப்படுகிறது. அப்பொருளின் செறிவைக் காண்க.

(சென்னை 1928 செப்.)

2. 25 க. செ. மீ. கலயத்தினுள்ளே 18·69 கிராம் உப்பு இடப்பட்டது. அதன் நிறை இப்போது 31·90 கிராம். உப்போடு இக்கலயம் தெவிட்டிய உப்புக்கரை நீரினல் நிரப்பப்பட்டது. அதன் நிறை இப்போது 51·22 கிராம். உப்பின் செறிவு காண்க. உப்புக்கரை நீரின் செறிவு 1·2 கிராம் க. செ. மீ.

3. 25 க. செ. மீ. கலயமொன்றின் நிறை 15·52 கிராம். இதிலே சிறிதளவு மணலையிட இதன் நிறை 34·42 கிராம் ஆயிற்று. இதிலே மணலோடு தண்ணீரை முற்றும் நிரப்பிய பின்னர் இதன் நிறை 45·92 கிராம் ஆயிற்று. மணலின் செறிவு காண்க.

4. பொன்னும் வெள்ளியும் கலந்ததொரு கலவையின் ஒப்புச் செறிவு 15. பொன்னின் ஒப்புச் செறிவு 19. வெள்ளியின் ஒப்புச் செறிவு 10·5. இவற்றைக் கொண்டு மேற்கூறிய கலவையின் கலப்பு விகிதம் காண்க. கலவையினல் பருமைக்குறைவு ஏற்படவில்லை என்று கொள்ளவும்.

5. உறைப்பான 50 கிராம் கந்தகக் காடியோடு (Sulphuric acid) 50 கிராம் தண்ணீர் கலக்கப்பட்டது. காடியின் ஒப்புச் செறிவு 1·838. கலவையின் ஒப்புச் செறிவு 1·399. இக்கலப்பினுலேற்பட்ட பருமைச் சுருக்கத்தைக் கணக்கிடுக.

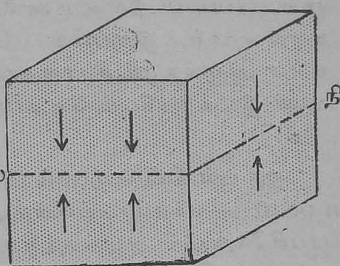
6. நான்கு உப்புக்கரை நீர்கள் 1: 2: 3: 4 என்னும் பருமைத்தகவிலே கலக்கப்பட்டன. இவற்றின் ஒப்புச் செறிவுகள் முறையே 1·12, 1·17, 1·19, 1·20 என்பனவாம். இக்கலவையின் ஒப்புச் செறிவைக் காண்க.

---

# அத்தியாயம் 12

## அழுத்தமும் இறுக்கமும் (Thrust and Pressure)

வழுவழுப்பான படுகை கொண்ட ஒரு மேஜையின் மீது வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒரு கனமான கட்டையை எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 92). இந்தக் கட்டை சம நிலைமையில் இருக்கிறது. கட்டையின் எடையாகிய கீழ்நோக்கு சக்தியை மேஜையின் எதிர்த்தொழிலாகிய மேனேக்கும் சக்தி எதிர்த்து நிலைப்படுத்துகிறது. இவ்வாறு தோடுவைத் தளத்தின் குறுக்கே, ஒரு பொருள் தன்னைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் மற்றொரு பொருளின்மீது தாக்கும் சக்தியே அழுத்தம் (Thrust) எனப்படும்.




படம் 92

மற்றும் இக்கட்டை ஸ நி என்னுமொரு படுக்கைத் தளத்தினால் இரு கூறுக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கருதுவோம். மேலேயுள்ள கட்டையின் பகுதியானது தனது எடையினால் ஸநி என்னும் தளத்தின் குறுக்கே கீழ் நோக்கி இறுத்துகிறது. கட்டை சமநிலைமையில் இருப்பதால் கீழ்ப்பகுதி மேற்பகுதியைச் சமமானதொரு சக்தியோடு மேனேக்கித் தள்ளவேண்டும். இவ்வாறு ஒன்றையொன்று எதிர்த்து, வெட்டுவாயின் குறுக்கே தொழிற்படும் இரண்டு சக்திகளும் சேர்ந்து இசிவு (stress) எனப்படும். கீழ்ப்பகுதி மேற்பகுதியைத் தள்ளுகிறது; இவ்வாறே மேற்பகுதியும் கீழ்ப்பகுதியை

அழுத்துகிறது. இச்சக்திகள் ஒவ்வொன்றும் தொடுவைத் தளத்திற்குக் குறுக்கே இருப்பதால் குறுக்கு அழுத்தங்கள் (Normal Thrusts) எனப்படும். தொடுவைத் தளத்தின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் அழுத்தத்தின் அளவு ஒரே சீராய் இருப்பின் அழுத்தம் சீராய்ப் பரவி இருப்பதாகக் கூறப்படும். ஒரு பலகையின் மீது மணல் பரப்பி இருப்பதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறு பரப்பப்பட்டுள்ள மணலின் ஆழம் எங்கும் ஒரே அளவினதாய் இருப்பின், மேஜையின் பரப்பின்மீதுள்ள அழுத்தமும் சீரானதாய் இருக்கும் மணலின் ஆழம் இடத்துக்கிடம் வேறுபடின் அழுத்தமும் வேறுபடும்.

ஒரு புள்ளியிலேற்படும் இறுக்கம் (Pressure at a point):—எந்தப் பரப்பின்மீதும் ஒரு ச. செ. மீட்டர் பரப்பிலேற்படும் அழுத்தத்திற்கு ஒரு பெயர் கொடுத்தால் அது சௌகரியமாய் இருக்கும். ஒரு பரப்பின் மீது பரவியுள்ள அழுத்தம் ஒரேசீராய் இருப்பின், ஒரு ச. செ மீட்டர் பரப்பிலேற்படும் அழுத்தத்தை, ஒவ்வொரு புள்ளியிலுமுள்ள இறுக்கம் என்று சொல்லப்படும். இப்போது P என்பது ஒரு பரப்பின்மீதுள்ள மொத்த அழுத்தம் என்றும், $p$ என்பது அப்பரப்பின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலுமுள்ள இறுக்கம் என்றும், பரப்பின் அளவு $\alpha$ ச. செ. மீட்டர் என்றும் கொள்வோம். ஒவ்வொரு ச. செ. மீட்டர் பரப்பின் மீதும் $p$ என்னும் அழுத்தம் தாக்குவதால், மொத்தப் பரப்பாகிய $\alpha$ சதுர ச. செ. மீட்டர் மீதும் தாக்கும் மொத்த அழுத்தம் $p\alpha$ ஆகும். ஆனால் இந்த மொத்த அழுத்தம் P என்று நாம் முன்பு கண்டோம். ஆகையால் $P = p\alpha$ ஆகும்.

எனவே ஒரு சீரான அழுத்தத்தின் தாக்குதலுக்குட்பட்டதொரு பரப்பின்மீது, ஒவ்வொரு புள்ளி

யிலும் உள்ள இறுக்கத்தைக் காணவேண்டுமானுல், மொத்த அழுத்தத்தைப் பரப்பின் அளவால் வகுக்க வேண்டும்.

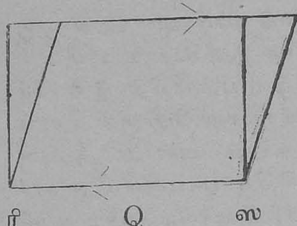
அழுத்தம் சீராக இல்லாதிருப்பினும் அது ஒரு சிறிய பரப்பினுள்மட்டும் சீராக இருப்பதாக நாம் கருதலாம். எனவே இப்போது ஒரு புள்ளியின் இறுக்கம் என்னும் தொடருக்குப் பின்வருமாறு பொருள் கொள்ளலாம். ஒரு புள்ளியின் இறுக்கம் என்பது அப்புள்ளியைச் சூழ்ந்துள்ள மிகச் சிறிய பரப்பின்மீது தாக்கும் அழுத்தத்தை, அப்பரப்பினுல் வகுக்க வரும் ஈவு ஆகும்.

ஒரு பரப்பின்மீது தாக்கும் மொத்த அழுத்தத்தை, அப்பரப்பினுல் வகுக்க வரும் ஈவு அப்பரப்பின்மீதுள்ள பொதுமை இறுக்கம் எனப்படும். அழுத்தம் சீரானதாய் இருப்பின், பொதுமை இறுக்கமும் ஒவ்வொரு புள்ளியின்மீதுள்ள இறுக்கமும் சமமாகும். அழுத்தம் சீராக இல்லாவிடின் இவை ஒத்திருக்கமாட்டாவாம்.

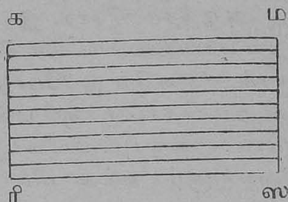
இறுக்க அலகுகள் :—ஒரு புள்ளியின் இறுக்கமென்பது, அதைச் சூழ்ந்துள்ளதொரு சிறு பரப்பின் மீதுள்ள அழுத்தத்தை, அப்பரப்பினுல் வகுக்கவரும் ஈவு ஆகும். ஆகையால் இறுக்கத்தைப் பரப்பு அலகுகளாலும் சக்தி அலகுகளாலும் குறிப்பிடவேண்டியதாகிறது. மெட்ரிக் திட்டத்தில் இறுக்கம் ச. செ. மீட்டருக்கு இத்தனை டைன் அல்லது கிராம் எடை என்று கூறப்படும். பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலே அது ஒரு ச. அங்குலத்திற்கு இத்தனை பவுண்டல் அல்லது பவுண்டு எடை என்று கூறப்படும்.

சரிக்கும் இசிவு (Shearing Stress):—ஸரிகம என்னும் ஒரு நேரகக்கட்டையை எடுத்துக்கொள்

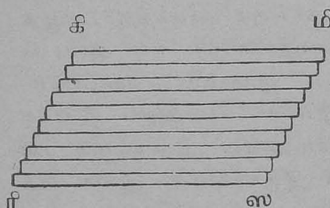
வோம். (படம் 93(1)). எதிர்முகங்களில் தொழிற்படும் P, Q என்னும் சம எதிர்ச்சக்திகளால் இக்கட்டை




படம் 93 (1)




படம் 93 (2)



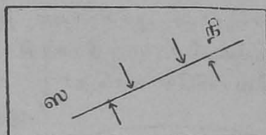

படம் 93 (3)

உருக் குலைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறு உருக்குலைந்த நிலை ஸரிகிமி என்றும் கொள்வோம். கட்டையினுள் தொழிற்படும் சில சக்திகள் இவ்வுருக் குலைவை எதிர்க்கின்றன. பிரயோகிக்கப்பட்ட சக்திகள் நீங்கிய உடனே கட்டை தன்னிலையை அடைய முயலும்.

இத்தகைய சக்திகள் எல்லாத் திடப்பொருள்களுக்கும் உண்டு. திடப்பொருள்களின் உருவைக்குலைக்க முயன்றால் அவை அம்முயற்சியை எதிர்க்கும். ஆனால் ஓடிகளாகிய திரவங்களுக்கும், வாயுக்களுக்கும் இத்தகைய சக்தி இல்லை. இதுவே திடப்பொருள்களுக்கும் ஓடிப் பொருள்களுக்கும் உள்ள அடிப்படையான வேற்றுமையாகும்.

ஓடிகளில் ஏற்படும் இசிவுகள் :—தனது உருவைக் குலைக்கும் சக்திகளைத் தடுக்கும் இயல்பு ஓடி-

களுக்கு இல்லையாகையால், அவற்றின் பரப்புகள் எப்போதும் ஒரு பரிசச் சக்திக்கு (tangential force) உட்பட்டே தீரும். ஆகையால் நாம் ஒரு புனலியினுள்ளே ஸநி என்னும் ஒரு கற்பனைப் பரப்பை (imaginary surface) எடுத்துக்கொண்டால் அதன் மீது தொழிற்படும் சக்திகளெல்லாம் அப்பரப்புக்கு லம்பமாக இருக்கும். (படம் 94). வேறேதேனும் ஒரு திசையில் ஒரு சக்தி தொழிற்படுமானால் அச்சக்தியின் பிரிநிலையொன்று ஸநி-யை முற்றிலும் தொடுவதாக இருக்கக்கூடும். இப் பிரிநிலையை எதிர்த்துத் துலைப்படுத்தக்கூடியதொரு சக்தி ஓடியில் இல்லாமையால் இப்பிரிநிலையும், அச்சக்தியும் இல்லையாகும்.

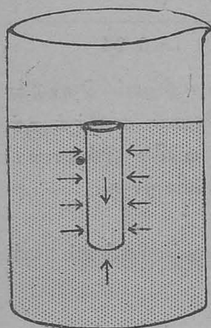


படம் 94

அசையாது நிற்கும் திரவத்தினுள்ளிருக்கும் ஓர் புள்ளியினிறுக்கம்.

$d$ என்னும் செறிவையுடைய திரவத்தினுள் $h$ என்னும் ஆழத்திலுள்ள P என்னும் ஓர் புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம். இப்புள்ளியைச்சுற்றி படுகைத்தளத்தினுள் $\alpha$ என்னுமோர் சிறு பரப்பை எடுத்துக்கொள்வோம். இப்பரப்பைப் பீடமாகக்கொண்ட ஒரு நிமிர்வை உருளையைத் திரவத்தின்மேல்மட்டம்வரை கற்பனை செய்துகொள்வோம். இந்தத் திரவ நிரை இயங்காது நிற்கிறது. பவன இறுக்கத்தைத் தவிர இந்நிரையின்மீது தொழிற்படும் சக்திகளாவன :— (1) நிரையின் கவர்ச்சிமையத்தின் வழியாக நிமிர்வையாய் கீழ்நோக்கித் தொழிற்படும் அதன் எடை (2) $\alpha$-வின் மீது நிமிர்வையாக மேனோக்கித் தொழிற்படும் ஓடி அழுத்தம். (3) நிமிர்வையான புறமுகத்தின்மீது பல

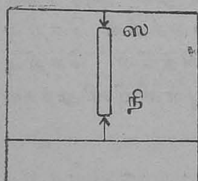
வேறிடங்களில் தொழிற்படும் இறுக்கங்கள். இறுதியிலே கூறப்பட்டவை புறமுகத்தின்மீது எங்கும் செங்குத்தாகத் தொழிற்படும் சக்திகளாகும். ஆகையால் இவையெல்லாம் படுகை வாக்கிலே தொழிற்படுவனவாம். (படம் 95). எனவே, நிமிர்வைத்திசையில் இவற்றுக்கு யாதொரு பிரிநிலையும் இருக்கமுடியாது. இவ்வாறே முற்கூறிய மற்றிரண்டு சக்திகளுக்கும் படுகைத் திசையிலே யாதொரு பிரிநிலையும் இருக்கமுடியாது. ஆனால் இச்சக்திகள் தொழிற்படும் திரவ நிரையோ சமநிலையில் நிற்கிறது. இதனால் படுகைச் சக்திகளும், நிமிர்வைச் சக்திகளும், தனித்தனியே கூடி சூனியமாகவேண்டும். எனவே நாம் இரண்டு முடிபுகளைக் காண்கிறோம். (1) புறமுகத்தின்மீதெங்கும் தொழிற்படும் பலவேறு சக்திகள் ஒன்றையொன்று அழித்துவிடுகின்றன. (2) நிரையின் எடை, $\alpha$-வின்மீது மேனோக்கித் தொழிற்படும் நிமிர்வை அழுத்தத்தைத் துலைப்படுத்துகிறது. இரண்டாவது முடிபிலிருந்து அதில் கூறப்பட்ட இரண்டு சக்திகளும் சமமானவை என்று தெரிகிறது. திரவ நிரையின் எடை $h\alpha g d$ அலகுகள் ஆகும். $\alpha$-வின் அடியில் மேனோக்கித் தொழிற்படும் இறுக்கம் $p$ ஆனால், மொத்த அழுத்தம் $p\alpha$ ஆகும். எனவே $h\alpha g d = p\alpha$ அல்லது $p = hgd$ ஆகும். இதில் $g$ என்னும் நிலக்கவர்ச்சி மாறிலியும் $d$ என்னும் செறிவும் மாறிலிகளாகும். ஆகையால் $p$ என்னும் இறுக்கம் $h$ என்னும் ஆழத்திற்குப் பொருந்தவுள்ளது. எனவே பவன



படம் 95

இறுக்கத்தை நீக்கிவிட, திரவத்தினுள் ஒரு புள்ளியிலேற்படும் இறுக்கம், திரவ மட்டத்திலிருந்து அப்புள்ளி இருக்கும் ஆழத்திற்கு ஏற்ப நேராக இருக்கும் என்று காணப்படுகிறது. நீர் மட்டத்தின் மேலுள்ள பவன இறுக்கம் $\pi$ அலகுகள் ஆனால் நீர் மட்டத்தின் கீழே $h$ என்னும் ஆழத்திலுள்ளதொரு புள்ளியிலேற்படும் இறுக்கம், $(\pi + h\,g\,d)$ அலகுகள் ஆகும்.

திரவத்தினுள்ளே வெவ்வேறு ஆழங்களில் இருக்கும் ஸ, நி என்னும் இரண்டு புள்ளிகளின் இறுக்க வேற்றுமையை நாம் கணக்கிட வேண்டுமானால், மேலே நாம் கண்ட முடிபைக் கையாண்டு அதைக் காணலாம்.

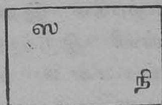


படம் 96 (1)

$h$ என்பது ஸ-வின் ஆழமானால் ஸ-விலுள்ள இறுக்கம் $\pi + h\,g\,d$ ஆகும். $h'$ என்பது நி-யின் ஆழமானால் நி-யிலுள்ள இறுக்கம் $\pi + h'\,g\,d$ ஆகும். ஆகையால் இவ்விரண்டு புள்ளிகளுக்கும் இடையேயுள்ள இறுக்க வேற்றுமை $(h' - h)\,g\,d$ ஆகும். எனவே திரவத்தினுள்ள ஒரே நிமிர்வை வரையின்மீது நிற்கும் இரண்டு புள்ளிகளுக் கிடைப்பட்ட இறுக்க வேற்றுமையானது, அலகுப் பரப்பு கொண்ட வெட்டு வாயையும் புள்ளிகளினிடைத் தூரத்துக்குச் சமமான உயரத்தையும் கொண்டதொரு திரவ உருளையின் எடைக்குச் சமம் என்பது தெரிகிறது.

நாம் செய்த கணக்கீட்டிலே ஸ, நி என்னும் புள்ளிகள் ஒரே நிமிர்வைக் கோட்டிலே நிற்கின்றன என்ற உண்மையைக் கையாளவே இல்லை. எனவே இரண்டு புள்ளிகளுக் கிடைப்பட்ட இறுக்கத்தைக் கணக்கிடுவ

தற்கு, அவை நிமிர்வைபாக ஒன்றின் கீழொன்று இருக்க வேண்டிய அவசியம் இல்லையென்றும், நாம் மேலேகண்ட முடிபு விரிவான பொருள் கொண்டதென்றும் தெரிகிறது. (படம் 96 (2)).



படம் 96 (2)

இதையே சற்று விவரித்து, ஒன்றேடொன்று கலக்காமல் இரண்டு படலங்களாக (layers) நிற்கும் இரண்டுவிதத் திரவங்களிலே, அடிப் படத்திலுள்ள தொரு புள்ளியினிறுக்கத்தையும் காணலாகும்.

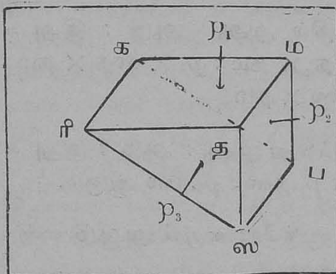
திரவ மட்டத்திலிருந்து இரண்டு படலங்களின் பரிசப்பரப்பு $h$ என்னும் ஆழத்திலிருப்பதாகவும், இப்பரப்பின்கீழ் ஒரு புள்ளி $h'$ என்னும் ஆழத்தில் இருப்பதாகவும், மேற்படலமாகிய திரவத்தின் செறிவு $d$ என்றும், கீழ்ப்படலமாகிய திரவத்தின் செறிவு $d'$ என்றும் கொண்டால், அப்புள்ளியினிறுக்கம் $(h g d + h' g d')$ அலகுகள் ஆகும்.

பவன-இறுக்கத்தையும் உடன் கூட்டிக்கொண்டால் அது $(\pi + h g d + h' g d')$ அலகுகள் ஆகும்.

திரவத்தினுள் $h$ என்னும் ஆழத்திலுள்ளதொரு புள்ளியினிறுக்கம் $h g d$ என்று கண்டோம். இதில் $g$, $d$ என்னும் ராசிகள் மாறிலிகள். ஆகையால் இறுக்கம் $h$ என்னும் ஆழமொன்றையே சார்ந்து நிற்கிறது. புள்ளியின் நிலையைக் குறிக்கும் மற்ற ஆயங்கள் இதில் காணப்படவில்லை. எனவே ஒரே ஆழத்திலுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் இறுக்கம் ஒரே அளவானது என்பது விளங்குகிறது.

ஒரு புள்ளியிலேற்படும் இறுக்கம் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமான அளவுடையது.

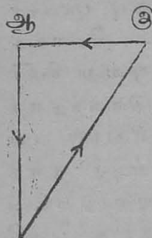
இதை அநுமானம் பரிசோதனையாகிய இரண்டு முறைகளினாலும் காட்டலாம். முதலில் கணக்கியல் முறைப்படி இதை நிரூபித்துவிட்டுப் பின்பு பரிசோதனை செய்யும் முறையைக் கூறுவோம். திரவத்தினுள்ளே ரிதஸ, கமப, ஸதமப என்னும் மூன்று நிமிர்வைத் தளங்களாலும், ரிகமத என்னும் படுகைத்தளத்தாலும், ரிகபஸ என்னும் சாய்வுத் தளத்தாலும் வரையறுக்கப்பட்டதொரு பகுதியைக் கற்பனை செய்து கொள்வோம். படம் 97(1). நாம் இறுக்கம் காணவேண்டிய P என்னும் புள்ளி இதனுள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். திரவம் அசையாதபோது இப்பகுதி சம நிலைமையில் நிற்கிறது. இது மிகச்சிறிய அளவினதாய் இருந்தால், இதன் முகங்களின்மீது தொழிற்படும் சக்திகளோடு ஒப்பிட இதன் எடை மிக அற்பமாய்விடுமாகையால் அதை நீக்கிவிடலாம். நிற்க ரிகமத என்னும் பரப்பின்மீதுள்ள இறுக்கம் $p_1$ என்றும், ஸதமப என்னும் பரப்பின்மீதுள்ள இறுக்கம் $p_2$ என்றும், ரிகபஸ என்னும் பரப்பின் மீதுள்ள இறுக்கம் $p_3$ என்றும் கொள்வோம்.



படம் 97 (1)

சமசீர்மை (Symmetry) யினால் ரிதஸ, கமப என்னும் முகங்களின்மீது தொழிற்படும் சக்திகள் பரஸ்பரம் அழிந்துவிடும் என்பது தெளிவாகும். எனவே எஞ்சி நின்ற $p_1$, $p_2$, $p_3$ என்னும் மூன்று இறுக்கங்களுக்குரிய சக்திகளுக்குட்பட்டு இத்திரவப்பகுதி சமநிலைமையில் நிற்கிறது. ஆகையால் இம்மூன்று சக்திகளும்

சக்தி முக்கோண விதிக்குக் கட்டுப்படவேண்டும். இவற்றின் அளவுகள் முறையே $p_1$ × ரீத × தம, $p_2$ × ஸத × தம, $p_3$ × ரீஸ × ஸப ஆகும். இவற்றுக்கு ஏற்பவுள்ள சிறைகள்கொண்ட அஆஇ என்னுமொரு முக்கோணத்தை வரைக. (படம் 97(2)).



படம் 97 (2)

இதில் அஆ : ஆஇ : இஅ = $p_1$ × ரீத × தம : $p_2$ × ஸத × தம : $p_3$ × ரீஸ × தம

அல்லது அஆ : ஆஇ : இஅ = $p_1$.ரீத : $p_2$.தஸ : $p_3$.ரீஸ ஆகும்.

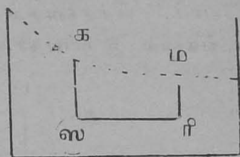
ஆனால் ரீதஸ என்ற முக்கோணமும் அஆஇ என்ற முக்கோணமும் வடிவொத்தவை.

ஆகையால் அஆ : ஆஇ : இஅ = ரீத : ஸத : ரீஸ ஆகும்.

எனவே ரீத : ஸத : ரீஸ = $p_1$.ரீத : $p_2$.ஸத : $p_3$.ரீஸ ஆகவேண்டும். இந்நிபந்தனை பூர்த்தியாகவேண்டுமானால் $p_1 = p_2 = p_3$ ஆகவேண்டும். ஆகையால் இம்மூன்று திசைகளிலும் உள்ள இறுக்கங்கள் சமமாகின்றன. நாம் கற்பனை செய்துகொண்ட திரவப்பகுதி மிகச் சிறியதாய்விட்டால் அதற்கும் அதனுள்ளிருக்கும் P என்னும் புள்ளிக்கும் வேறுபாடில்லையாகும். எனவே P என்னும் புள்ளியிலே ஏற்படும் இறுக்கங்கள் எல்லாத்திசையிலும் ஒரே அளவானவை என்பது தெளிவு.

**ஒரு சீரான இறுக்கத்துக்குட்பட்ட திரவத்தின் பரப்பு, அத்திரவம் அசையாதிருக்கும்போது, படுகைத் தளமாக இருக்கும்.**

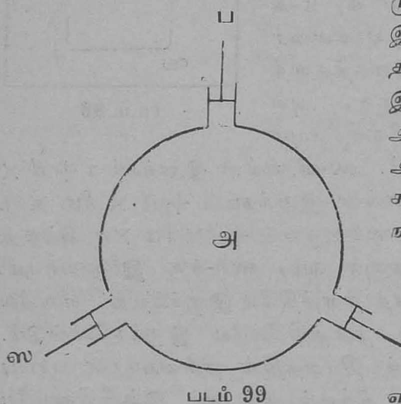
ஸ, ரி என்பன, அசையாது நிற்கும் ஒரு திரவத்தினுள்ளே; ஒரே படுகைத்தளத்திலே இருக்கும் இரண்டு புள்ளிகளென்று கொள்வோம். (படம் 98). இத்திரவத்தின் பரப்பின்மீதுள்ள சீரான இறுக்கம் π என்று கொள்வோம். திரவத்தின் செறிவு $d$ என்று கொள்வோம். ஸக, ரிம என்னும் நிமிர் வரைகளை, திரவத்தின் பரப்பை முறையே க, ம-க்களில் சந்திக்கும்படியாக வரையவும். ஸரி படுகைத்தளத்திலே இருப்பதால், அவ்விரண்டு புள்ளிகளிலேயும் இறுக்கம் சமமாகும். ஸ-விலுள்ள இறுக்கம் π + $d$ × ஸக × $g$. ரி-யிலுள்ள இறுக்கம் π + $d$ × ரிம × $g$. ஆகையால் π + $d$ × ஸக × $g$ = π + $d$ × ரிம × $g$ அல்லது ஸக = ரிம. அதனால் கம, ஸரி-க்கு இணையாகும். ஆனால் ஸரி படுகைத் தளத்திலே இருக்கிறது. எனவே கம-வும் படுகைத் தளத்திலேயே இருக்கவேண்டும். அசையாது நிற்கும் திரவத்தின் தன்வயமான பரப்பு படுகைத்தளத்திலே நிற்கும் என்னும் இவ்விதியையே 'திரவம் தன் மட்டத்தை நாடுகிறது' என்று நாடோடியாகச் சொல்வதுண்டு.



படம் 98

ஓடி இறுக்கத்தின் பரவும் இயல்பு (transmissibility of fluid pressure) :—ஒரு திரவத்திலே ஓரிடத்தில் பிரயோகிக்கப்பட்ட இறுக்கம், சற்றும் மாறுதலடையாமல் திரவத்தின் எல்லாப் பகுதிகளிலும் பரவுகிறது. இதைப் 'பாஸ்கலின் விதி' (Pascal's Law) என்று சொல்லுவார்கள். இதைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கிக்காட்டலாம். அ என்பது படத்தில் (படம் 99) கண்டபடி பல வாயில்கள் கொண்டதொரு கலம் என்றும், அதன் ஒவ்வொரு வாயிலிலும் ஒரு பீச்சான்

(piston) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறதென்றும் கொள்வோம். சௌகரியத்திற்காக இவ்வாயில்களின் வெட்டுவாய்கள் சமமானவை என்று கொள்வோம். இதனுள் தண்ணீரை முழுவதும் நிரப்புவோம். ப என்பது எல்லாவற்றுக்கும் மேலேயுள்ள வாயில் என்று கொள்வோம். பீச்சான்கள் ஒவ்வொன்றும் வெவ்வேறு மட்டங்களில் இருப்பதால் அவற்றின்மீது நீரின் இறுக்கமும் வேறுபடும். இப்பீச்சான்களை தமது நிலைகளில் இறுத்துவதற்காக, அவற்றின் மீதுள்ள அழுத்தங்களுக்குச் சமமான சக்திகளை, நாம் வெளியிலிருந்து பிரயோகிக்க வேண்டும். இச்சக்திகள் முறையே F, $F_1$, $F_2$ என்று கொள்வோம்.

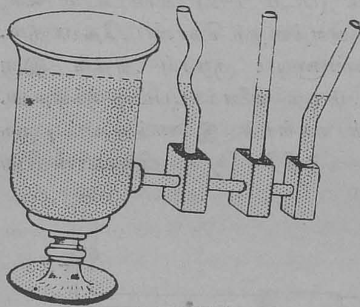


படம் 99

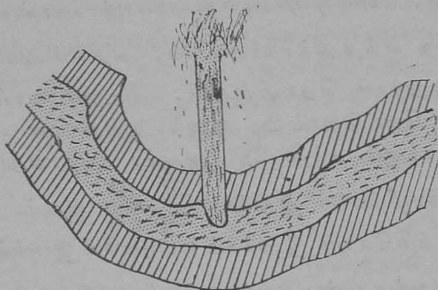
இப்போது ப என்னும் பீச்சான்மீது F′ என்னும் உபரியான சக்தியைப் பிரயோகிப்போம். இப்போது மற்ற பீச்சான்களைத் தமது நிலைகளில் இருத்தவேண்டுமானால், அவை ஒவ்வொன்றின்மீதும், F′ என்னும் உபரி சக்தியைப் பிரயோகித்தே ஆகவேண்டும் என்பதைக் காணலாம். அதாவது அவை ஒவ்வொன்றின்மீதும் எற்பட்டுள்ள நீரின் உபரி இறுக்கம் $\frac{F'}{a}$ ஆகும். இதில் $a$ என்பது வாயில்களின் வெட்டு வாயாகும். இதுவே நாம் ப-வின்மீது பிரயோகித்த உபரி இறுக்கமும் ஆகும். எனவே, நாம் திரவத்தின்மீது ப என்ற இடத்தில் பிரயோகித்த இறுக்கம் சற்

றும் மாறுதலடையாமல் திரவத்தின் ஒவ்வொரு பாகத்திலும் பரவிநிற்கிறது. திரவத்தினுள்ளே ஏதேனுமோரிடத்தில், நாம் ஒரு அலகுப்பரப்புக் கொண்டதொரு தளத்தை எடுத்துக்கொண்டால், அதன்மீதும் $\frac{F'}{a}$ என்னும் இறுக்கம் தொழிற்படும். மேலும் வாயில்களில் ஒன்றின் வெட்டுவாய் $2a$ ஆனால் அதிலுள்ள பிச்சான் மீது தாக்கும் சக்தி $2F'$ ஆகும். அதாவது அதன் மீது தொழிற்படும் இறுக்கம் $\frac{2F'}{2a} = \frac{F'}{a}$ ஆகும். எனவே இவ்விடத்திலேயும் இறுக்கம் மாறாமலே இருக்கிறது.

திரவங்களின் இயல்புகளைப் பரிசோதனைகளால் விளக்கிக் காட்டுதல்:—திரவத்தின் தன் வயமான மேற்பரப்பு சமமட்டமானது என்னும் தத்துவத்தைப் படத்தில் கண்டவாறு ஒன்றோடொன்று இணைக்கப்பட்ட பல கலங்களின் சேர்க்கை யொன்றிலே தண்ணீரை விட்டுக் காட்டலாம். (படம் 100). இதிலுள்ள எல்லாக் கலங்களிலும் தண்ணீர் ஒரே மட்டத்தில் நிற்கும். பலர் ஆர்டீஷியன் கிணறுகள் எனப்படும் குமிழ் குழாய்களைப் பார்த்திருக்கக்கூடும். பூமியிலே பல அடி தூரம் துளைத்து இறுத்தப்பட்ட இரும்புக்குழாயின் வழியாகத்தண்ணீர் நிலக்கவர்ச்சியையும் மீறி வெளிவந்து பாய்கிறது. படத்திலிருந்து (படம் 101) இது 'தண்ணீர் தன் மட்டத்தை நாடுகிறது' என்னும் தத்து

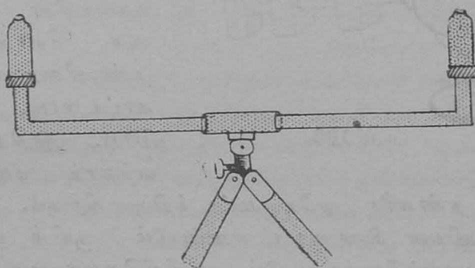

படம் 100

வத்தை யடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது என்பது விளங்கும்.



படம் 101

படத்தில் காணும் (படம் 102) நீர்மட்டம் என்னும் கருவியும் இத்தத்துவத்தைக் கொண்டதேயாகும். இதில் ஒரு நீண்ட கண்ணாடிக் குழாய் அதன் இரு முனைகளிலும் மட்டமாக வளைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவற்றோடு கண்ணாடிக் கலங்கள் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இக்குழாய் நடுவிலே ஒரு பிடிப்பின்மீது

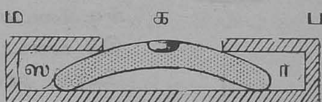


படம் 102

தாங்கி நிற்கிறது. இதனுள்ளே சிறிது சாயமேற்றிய நீர் நிற்கிறது. தண்ணீர் இரண்டு கண்ணாடிக் கலங்களிலும் ஒரே மட்டத்தில் நிற்கும். இவ்விரண்டு நீர்

மட்டங்களின் மூலமாகத் தனது பார்வையைச் செலுத்து மொருவன் ஒரே படுகை மட்டத்தைப் பார்க்கிறான். ஆகையால் அவன் பல வேறிடங்களுக் கிடையேயுள்ள மட்ட வேற்றுமைகளைக் காணமுடியும்.

சாராய மட்டம் என்னும் கருவியின் அமைப்பிலும் இதே தத்துவம் கையாளப்படுகிறது. (படம் 103). இதில் ஸகரீ என்னும் இருபுறமும் மூடியதொரு கண்ணாடிக் குழாயில், க என்னும் ஒரு சிறு காற்றுக்குமிழ் நிற்குமிடம் தவிர, ஏனைய இடமெல்லாம் சாராயத்தால் (spirit) நிரப்பப்பட்டிருக்கிறது. நடுவிலே சிறிது

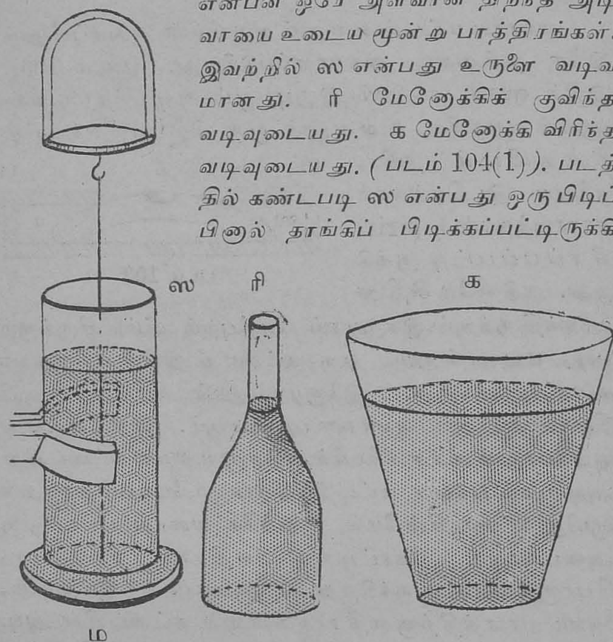


படம் 103

வளைந்திருக்கும் இக்குழாய் மேற்புறம் விம்மியிருக்கும்படி, மப என்னும் ஒரு கட்டையினுள் பதியவைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இக்குழாயினுள் காற்றுக் குமிழொன்றே தன் வயமான பரப்பாகும். எனவே அது எப்போதும் உச்ச நிலையில் நிற்க முயலும். கட்டையின் அடிமுகம் படுகை மட்டத்திலிருக்கும்போது, காற்றுக் குமிழ் கட்டையின்மேல், குறுக்கே வரையப்பட்ட ஒரு அடையாளக் கோட்டிற்கு எதிராக நிற்கும்படி, பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. ஆகையால் இக்குமிழ், அடையாளத்திற்கு எதிராக நின்றால், கட்டையின் அடிமுகம் படுகை மட்டத்திலிருக்கிறதென்று நாம் கொள்ளலாம். அவ்வாறில்லாமல் ப என்னும் புறம் சிறிது தூக்கலாய் இருந்தால், அடையாளக் கோடு உச்ச நிலையில் இல்லாதுபோகும். எனவே காற்றுக்குமிழ் ப-வை நோக்கி நகர்ந்து நிற்கும்.

**பாஸ்கலின் கலங்கள் (Pascal's Vases)** :—ஒரு படுகைப் பரப்பின்மீது ஒரு திரவ நிரை நிற்பதா

லேற்படும் அழுத்தம், அத்திரவ நிரையின் உயரத்தைச் சார்ந்ததே ஒழிய அத்திரவத்தின் அளவைச் சார்ந்த தல்ல. இதைப் பாஸ்கலின் கலங்கள் என்னும் உபகரணத்தால் (apparatus) விளக்கிக்காட்டலாம். ஸ, ரி, க என்பன ஒரே அளவான திறந்த அடிவாயை உடைய மூன்று பாத்திரங்கள். இவற்றில் ஸ என்பது உருளை வடிவமானது. ரி மேனேக்கிக் குவிந்த வடிவுடையது. க மேனேக்கி விரிந்த வடிவுடையது. (படம் 104(1)). படத்தில் கண்டபடி ஸ என்பது ஒரு பிடிப்பினல் தாங்கிப் பிடிக்கப்பட்டிருக்கி



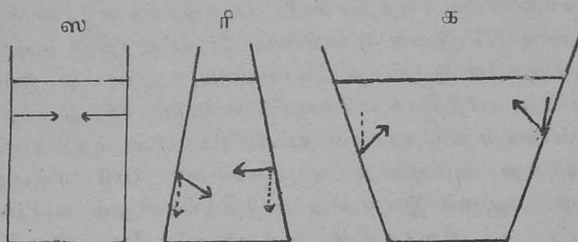

படம் **104** (1)

றது. ம என்னும் வில்லை ஒரு சரட்டினுதவியால் ஸ-வின் அடியை மூடியவண்ணம் மேனேக்கி இழுத்துப் பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இச்சரடு ஒரு தராசுச் சட்டத்தின் ஒரு முனையில் கட்டப்பட்டுள்ளது. மறு முனையில் தொங்கும் தட்டிலே எடைக்கற்கள் போடப்பட்டிருக்கின்றன. இப்போது ஸ-வினுள் தண்ணீரை

வார்க்கவும். இத்தண்ணீரின் மட்டம் ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்தை யடைந்தவுடன், வில்லை தண்ணீரின் எடையைத் தாங்கமாட்டாமல் கீழிறங்கிவிட, தண்ணீரெல்லாம் வெளியே ஓடிவிடும். நீர் மட்டத்தின் இந்த உயரத்தை அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். இதே பரிசோதனையை மற்றிரண்டு பாத்திரங்களைக்கொண்டு செய்தால், இவை மூன்றிலும் நீர் மட்டத்தின் உயரம் ஒன்ருகவே இருப்பது தெரியவரும். அதாவது, இந்த மூன்று பாத்திரங்களினடியில் ஏற்படும் நீர் அழுத்தம் ஒவ்வொன்றும் தராசின் தட்டிலிட்ட எடைக்குச் சமம். அல்லது அம்மூன்று அழுத்தங்களும் சமம் என்பதாகும். ஆனல் இம்மூன்று பாத்திரங்களிலும் வார்க்கப்பட்ட நீர் நிரைகளின் அளவுகளும் வேறுபடுவதால் அவற்றின் எடைகளும் வெவ்வேருக இருக்கும் என்பது வெளிப்படை. இவ்வாறிருந்தும் அவை தம்மைத் தாங்கிநின்ற ம என்ற வில்லையின்மீது தாக்கும் அழுத்தம் மட்டும் சமமாக இருப்பதைக் காண்கிருேம். எனவே ஒரு திரவ நிரையின் அடியில் ஏற்படும் இறுக்கம், அதன் உயரத்தைச் சார்ந்ததேயல்லாமல் அதன் அளவைச் சார்ந்தது அல்லவென்று தெரிந்துகொள்கிருேம்.

ஸ-வைவிட ரி குறைவாகவே தண்ணீர்கொண்டது. க-வோ ஸ-வைவிட அதிகத் தண்ணீரை ஏற்றுக்கொண்டது என்பது தெளிவு. இவ்வாறிருக்க க-வில் நின்ற அதிகத் தண்ணீரின் எடை என்னவாயிற்று என்ற ஐயம் எழலாம். இவ்வதிகப்படி எடையை வாயகன்ற க-வின் சாய்ந்த சுவர்கள் தாங்கிவிடுகின்றன என்று தெரிகிறது. இவ்வாறே ரி-யில் குறைவுபட்ட எடையைக் குவிந்திருக்கும் அதன் சுவர்களின் எதிர்த்தொழிலால் ஈடு செய்யப்படுகிறது என்றும் தெரிகிறது. படத்தைப் பார்க்கவும்.

இம்மூன்று கலங்களிலும் நீர் சுவரின் மீது மோதுவதால், அச்சுவரின் எதிர்த்தொழில் சுவருக்கு லம்பமான திசையிலே தொழிற்படுகிறது. ஆனால் ஸ-வின் சுவர் நிமிர்வையாக இருப்பதால், அதன் எதிர்த்தொழில் படுக்கையிலே நிற்கிறது. எனவே அதற்கு

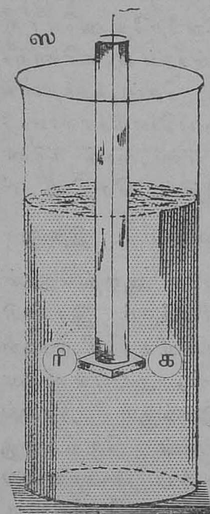



படம் 104 (2)

நிமிர்வைத் திசையிலே யாதொரு பிரிநிலையும் இல்லை. க-விலோ சுவர் வெளிப்புறமாக விரிந்து நிற்பதால், அதன் எதிர்த்தொழில் படத்தில் கண்டபடி சற்று மேனோக்கிச் சாய்ந்திருக்கிறது. எனவே அதற்கு நிமிர் வைத் திசையிலே மேனோக்கியதொரு பிரிநிலையுண்டு. இப்பிரி நிலையே ரீ-யில் குவைவுபட்ட திரவத்தின் எடையை ஈடு செய்கிறது.

திரவத்தினுள்ளிருக்கும் ஒரு புள்ளியினிறுக்கம் அப்புள்ளியின் ஆழத்திற்கு ஏற்ப நேராக இருக்கும் என்றும், அத்திரவத்தின் செறிவுக்கு ஏற்பவுள்ளது என்றும் காட்ட. (படம் 105). ஸரீ என்பது 30 செ. மீட்டர் நீளமும் 3 செ. மீட்டர் குறுக்களவும் கொண்டதொரு கண்ணாடிக்குழாய். இதன் ரீ என்னும் முனை நன்றாக இழைக்கப்பட்டிருப்பதால், க என்னும் தட்டு குழாயின் வாயைக் காற்றுப் புகாமல் மூடக்கூடும். இத் தட்டு குழாயின் வாயைவிடச் சற்றே பெரிதாயிருக்கும். இதன் மையத்தில் கட்டப்பட்டதொரு சரடு குழாயின்

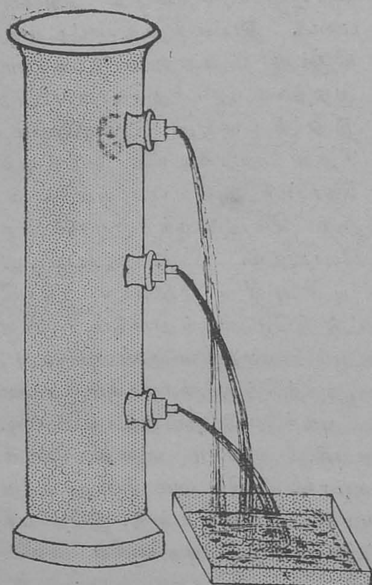
வழியாக மேலே வந்திருக்கும். இச்சரட்டை மேனேக்கி இழுத்து, தட்டு ரீ என்னும் முனையோடு ஒட்டியிருக்கும்படி பிடித்துக்கொண்டு, நீர் நிரப்பியுள்ள ஒரு சாடியில் தட்டு விழாதிருக்கும்வரைத் தண்ணீரினுள் அழுத்திப் பிடித்துக்கொண்டு சரட்டை விட்டுவிடவும். தண்ணீரின் மேனேக்கும் அழுத்தத்தினல் தட்டு கீழே விழாமல் ஏந்தப்பட்டு நிற்கிறது. இவ்வழுத்தம் தட்டின் எடையைவிட அதிகமாயிருக்கிறதென்பது வெளிப்படை. இப்போது நீர்மட்டத்திலிருந்து ரீ என்னும் முனையின் ஆழத்தை அளந்துகொள்ளவும். இது $h_1$ என்று கொள்வோம். சிறிய ஈயரவைகளை எடுத்துக்கொண்டு அவைகளை ஒவ்வொன்ருக மெதுவாகக் குழாயினுள் போடவும். ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள ரவைகள் குழாயினுள் விழுந்தவுடன் தட்டு கீழே விழுந்துவிடும். இந்த நிலையில் தட்டின் எடையும் ரவைகளின் எடையும் கூடி, நீரின் மேனேக்கும் அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும். ரவைகளையெல்லாம் எடுத்து அவற்ருேடு தட்டையும் கூட்டி நிறுத்து எடை காணவும். அது $w_1$ என்று கொள்வோம். இப்போது குழாயைப் பின்னும் சிறிது கீழே அழுத்தி ரீ-யின் ஆழமாகிய $h_2$ வைக் கண்டு, இதே பரிசோதனையைத் திருப்பிச்செய்து அதற்குரிய எடையாகிய $w_2$ வைக் காணவும். இவற்றிலிருந்து $\frac{w_1}{w_2} = \frac{h_1}{h_2}$ என்பதைக் காணலாம். அதாவது தண்ணீரினுள்ளி



படம் 105

ருக்கும் ஒரு புள்ளியினிறுக்கம், அதன் ஆழத்திற்கு ஏற்ப நேரானது என்பது தெளிவாகிறது.

தண்ணீரில் $h_1$ என்னும் ஆழத்திற்குரிய $w_1$ என்னும் எடையைக் கண்ட பிறகு, வேறேதேனுமொரு திரவத்தில் (நாம் கெரோஸின், தேங்காய் எண்ணெய், உப்புக்கரை நீர் (Salt Solution), செப்புக்கந்தகை கரை நீர் என்னும் திரவங்களை உபயோகிக்கலாம்.) இதே ஆழத்திற்குரிய $w_3$ என்னும் எடையைக் காணவும். இந்த இரண்டாவது திரவத்தின் செறிவு $d$ ஆனல் $\frac{w_3}{w_1} = \frac{d}{1}$ என்பதைக் காணலாம். இதனல் ஒரே ஆழத்தினுள்ளிருக்கும் இரண்டு புள்ளிகளினிறுக்கங்கள், அப்புள்ளிகள் இருக்கும் திரவங்களின் செறிவுக்கு ஏற்ப நேரானவை என்பது தெரிகிறது.



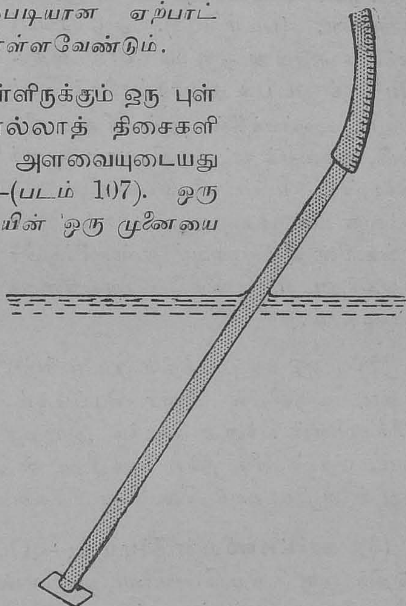
படம் 106

இறுக்கம் ஆழத்தோடு மாறுபடுகிறது என்பதை மற்ருெரு பரிசோதனையாலும் விளக்கிக் காட்டுவதுண்டு. (படம் 106).

ஒரு நீண்ட தகரக்குவளையின் புறத்தில் வெவ்வேறு உயரங்களில் பல தொளைகளை இட்டால், அவற்றிலிருந்து

வெளிவரும் தண்ணீரின் வேகம், நீர் மட்டத்தின் கீழ், தொளையின் ஆழத்திற்குகந்தவாறு இருக்கும். எல்லாவற்றிக்கும் அடியில் இருக்கும் தொளையிலிருந்து வரும் தண்ணீரின் வேகம் மிக அதிகமாயும், மேலே செல்லச் செல்ல தண்ணீரின் வேகம் குறைவாகவும் காணப்படும். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒவ்வொரு தொளையிலிருந்தும் வெளிவரும் தண்ணீரை ஒரு கலத்தில் ஏந்தி, அவற்றை நிறுத்து, அவற்றின் எடை ஒவ்வொரு தொளையின் ஆழத்திற்கும்ஏற்ப நேராகவுள்ளது என்பதைக் காணலாம். ஆனால் இதில் தண்ணீர் மட்டம் குறையாதிருக்கும்படியான ஏற்பாட்டைச் செய்துகொள்ளவேண்டும்.

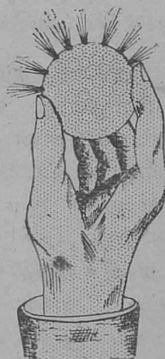
திரவத்தினுள்ளிருக்கும் ஒரு புள்ளியினிறுக்கம் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமான அளவையுடையது என்று காட்ட :—(படம் 107). ஒரு கண்ணுடிக் குழாயின் ஒரு முனையை நன்ருகத் தேய்த்து, அதனேடு ஒட்டி அதன் வாயை மூடும் படியானதொரு மெல்லிய கண்ணுடிச் சில்லை அதன் அடியில் வைத்து, அம் முனையை நீரினுள் செங்குத்தாக முழுக்கவும். இப்போது மற்ருெரு முனைவழியாக நாம் காற்றை ஊதினல்



படம் 107

அதன் இறுக்கம் $hgd$ என்னும் எல்லையை அடையும் போது, கண்ணாடிச் சில் விடுபட்டு விழுந்துவிடும். செங்குத்தாகக் குழாயைப் பிடிப்பதற்குப் பதிலாக, அதே ஆழத்தில் குழாயை எப்படிச் சாய்த்துப் பிடித்தாலும், அதனுள்ளிருக்கும் காற்றின் இறுக்கம், அதே எல்லையை மீறும்போதுதான் கீழே விழும். இதனால் திரவத்தினுள்ளிருக்கும் ஒரு புள்ளியினிறுக்கம் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமானது என்று அறிகிறோம்.

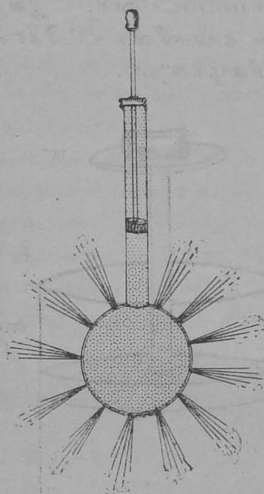
கீழ்க்கண்ட பரிசோதனைகள் திரவ இறுக்கம் குன்றுமல் எல்லாத்திசைகளிலும் பரவுவதைக் காட்டுகின்றன. (படம் 108). ஒரு ரப்பர் பந்தை எடுத்து ஒரு ஊசியால் அதன் மேலெங்கும் பல துவாரங்களைச் செய்யவும். அப்பந்தில் தண்ணீரை நிரப்பி, வாயைக் கட்டைவிரலால் மூடிக்கொண்டு, மற்ற விரல்களினிடையே பந்தை நெருக்கவும். எல்லாத் துவாரங்களின் வழியாகவும் தண்ணீர் ஒரே வேகத்துடன் வெளியே பாய்வதைக் காணலாம்.


படம் 108

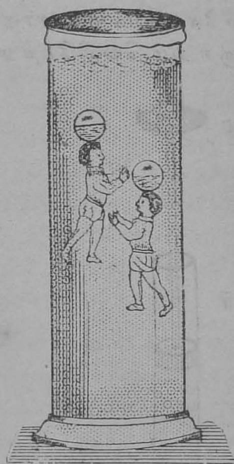
(2) அடுத்த படத்தில் (படம் 109) கண்ட கருவியில் நீரை நிரப்பவும். பிச்சானைப் பந்தை நோக்கி அழுத்தவும். தண்ணீர் ஒரே வேகத்துடன் எல்லாத் துவாரங்களின் வழியாகவும் வெளியே பீச்சுவதைக் காணலாம்.

(3) கார்ட்டிஸியன் நீர்மூழ்கி:—(Cartesian Diver) இதில் ஒரு சிறிய பொம்மை ஒரு கண்ணாடிப் பந்தின் மீது பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 110). இப்பந்தில் சிறிது தண்ணீரும், சிறிது காற்றுமாக நிரம்பி இருக்கின்றன. இப்பந்தினடியில் உள்ள ஒரு சிறு

துவாரம் வழியாகத் தண்ணீர் உட்செல்லவும் வெளியேறவும் கூடும். இது நீரால் நிரம்பியதொரு உயர்ந்த கண்ணாடிச் சாடியினுள் இடப்படும். இச்சாடியின் வாய் ஒரு ரப்பர் துணித் துண்டினால் இழுத்துக்கட்டி மூடப்பட்டிருக்கும். இவ்விரப்பர் துணிமீது கையை வைத்து அழுத்தினால், இப்பொம்மை சாடியின் அடி



படம் 109

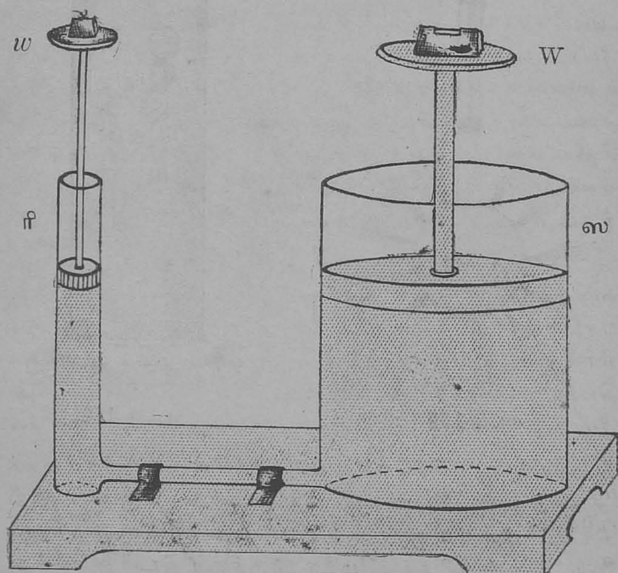


படம் 110

வரையில் முழுகிச்செல்லும். கையின் அழுத்தத்தைக் குறைத்தால் பொம்மை மேலெழுந்து வரும். இது நிகழும் முறை வருமாறு :—ரப்பர் துணியை அழுத்தும் போது தண்ணீருக்குமேலே இருக்கும் இடம் குறைந்து விடுவதால் அங்குள்ள காற்றினிறுக்கம் அதிகமாகும். இதனால் தண்ணீரினுள் இறுக்கம் அதிகரிக்கவே, பந்தி லுள்ள தொளையின் வழியாக அதிகத் தண்ணீர் உட்செல்லும். இதனால் பந்தின் எடை அதிகரிக்கவே

பொம்மை கீழே முழுகுகிறது. இவ்வாறே கையின் அழுத்தத்தைக் குறைத்துவிடவே காற்றினிறுக்கமும் தண்ணீரினிறுக்கமும் முறையே குறைந்து, பந்தினுள்ளிருந்து தண்ணீர் வெளியேறும். இதனால் பொம்மையின் எடை குறைந்துவிட அது மேலே எழுகிறது.

நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களும் இதே தத்துவத்தை அடிப்படையாகக்கொண்டு செய்யப்பட்டவை. இவற்றிலே இயந்திர சாதனத்தால் தண்ணீரை உட்கொள்ளுதலும் வெளியேற்றுதலும் நிகழுகின்றன.




படம் 111

4. நீர்நிலையில் விசித்திரம் (Hydrostatic paradox):—(படம் 111). படத்தில் கண்டபடி ஸ என்னும் ஒரு பெரிய உருளையும், ரி என்னும் ஒரு சிறிய

உருளையும் அடியில் ஒரு குழாயினல் ஒன்று சேர்க்கப் பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இவற்றின் வெட்டு வாய்களும் முறையே A, $a$ என்றும், இவையிரண்டி லும் நீர் இறுக்கமான (water tight) பிச்சான்கள் பொருத்தப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இவற்றிலே தண்ணீரை நிரப்பி வைக்கவும். இப்போது சிறிய பிச் சான்மீது $w$ என்னும் எடையை வைப்போம். இதனல் பெரிய பிச்சான் மேலெழும். இவ்வாறு மேலெழுவ தைத் தடுக்கவேண்டுமானல் அதன்மீது ஏதேனு மொரு எடையை வைக்கவேண்டும். சாமானியமாக அப்பிச்சான்மீதும் $w$ என்னும் எடையை வைத்தால் போதுமானது என்றே நாம் நினைப்போம். ஆனல் உண்மை அவ்வாறில்லை. மிகப்பெரிய W என்னும் எடையை அதன்மீது வைத்தாகவேண்டும். எனவே சிறிய எடையாகிய $w$ தன்னைவிட மிகப் பெரியதொரு எடையாகிய W-வைத் துலைப்படுத்துகிறது. இவ்விப ரீதம் நிகழுதற்குரிய நியாயம் வருமாறு:—

நாம் சிறிய பிச்சான்மீது $w$ என்னும் எடையை வைத்தோம். இது $a$ என்னும் பரப்புக்கொண்டதொரு பரப்பின்மீது தொழிற்பட்டது. எனவே இதனல் நீரிலேற்பட்ட இறுக்கம் $w/a$ ஆகும். இதே இறுக்கம் பெரிய உருளையினுட்சென்று, பெரிய பிச்சான்மீது மோதி, அதை மேனேக்கி எழுப்புகிறது. எனவே பெரிய பிச்சானின் அடியில், ஒவ்வொரு சதுர சென்டி மீட்டர் பரப்பின்மீதும், $w/a$ என்னும் சக்தி தொழிற் படுகிறது. ஆகையால் பெரிய பிச்சானை மேனேக்கி எழுப்பும் மொத்த சக்தி $A \cdot w/a$ ஆகும். இச்சக்தியே W என்னும் பெரிய எடையைத் துலைப்படுத்துகிறது. எனவே $W = A \cdot w/a$ ஆகும்.

இப்போது $a$-யைவிட A-10 மடங்கு கொண்டது என்று கொள்வோம். சிறிய பிச்சான்மீது 1 கி. கிராம்

எடையை வைத்தால் இதை துலைப்படுத்துவதற்காக A-யின்மீது 10 கி. கிராம் எடையை வைத்தாகவேண்டும். இவ்வாறே $a$-யை விட A-100 மடங்கு பெரிதானால், சிறிய பீச்சான்மீது வைக்கப்பட்டதொரு சிறிய எடை தன்னை விட 100 மடங்கு பெரிதானதொரு எடையைத் துலைப் படுத்தும். இதுவே நீர் நிலையியல் விசித்திரம் எனப்படும். இதில் அடிப்படையான தத்துவம் $\frac{a}{A} = \frac{w}{W}$ என்னும் வாய்பாடுதான். இதே தத்துவத்தைக் கையாண்டு நீரியல் துருத்தி (hydrostatic bellows) என்னும் சாதனமும், நீரியல் அச்சு (Brahma press) அல்லது பிராமா அச்சு என்னும் கருவியும் செய்யப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 112

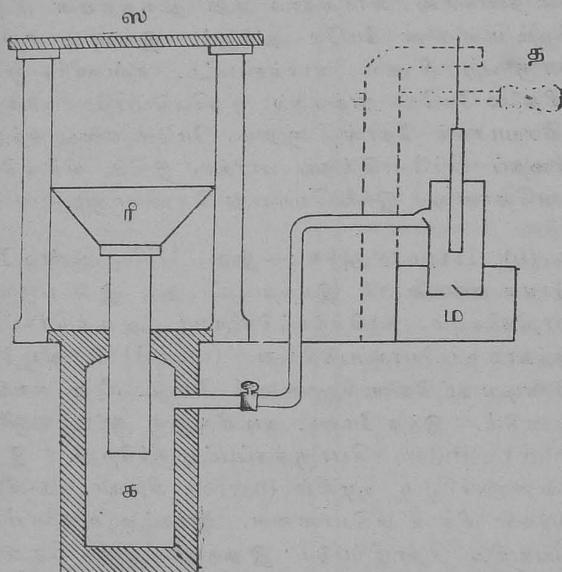
($a$) நீரியல் துருத்தி. (படம் 112) :—இதில் மேலும் கீழும் பலகை வைத்துத் தைக்கப்பட்டதொரு

துருத்தி இருக்கிறது. இதனோடு ஒரு நீண்ட செங்குத்தான குழாய் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு மனிதன் துருத்தியின் மீது ஏறி நிற்க, நாம் குழாயினுள் தண்ணீரை வார்த்தால் அது துருத்தியின் மீது நிற்கும் மனிதனை மேலே தூக்கும். இவ்வாறு சிறியதொரு குழாயினுள் வார்க்கப்பட்ட தண்ணீர், ஒரு மனிதனை மேலே தூக்குதல் முதலெடுப்பிலே நமக்கு அதிசயமாகத் தோன்றினாலும், மேலே கண்ட தத்துவத்தைப் பிரயோகித்துப் பார்க்க, இதில் விசித்திரமானதொன்றும் இல்லையென்பது தெளிவாகும்.

(*b*) பிராமா-அச்சு :—இது 1795 ஆண்டிலே பிராமா என்பவரால் இயற்றப்பட்டது. இது பஞ்சுப் பொதிகளையும், காகிதக்கட்டுகளையும் அழுத்திக்கட்டுவதற்காக உபயோகப்படுகிறது. (படம் 113). அழுத்த வேண்டிய கட்டுகளை ரி என்னும் மேடை மீது வைக்க வேண்டும். இந்த மேடை அடியில் ஒரு கட்டி உருளை (Solid Cylinder) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இது க என்னும் ஒரு குழலில் (barrel) நிற்கும். க-வின் சுவர்கள் மிக உறுதியானவை. இக்கட்டி உருளையின் புறங்களில் தொழிற்படும் இறுக்கம், அதை மேலும் கீழும் நகர்த்துவதில்லை. எனவே இதை ஒரு பீச்சான் போலக் கருதலாம்.

க என்னும் குழல் ஒரு உறுதியான உலோகக் குழாயினால் மற்றொரு சிறிய உலோக குழலோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இச்சிறு குழலினுள்ளே மற்றொரு பீச்சான் உருளை தொழிற்படுகிறது. இதை த என்னும் கைப்பிடியால் மேலும் கீழும் ஓட்டித் தொழிற்படுத்தலாம். இச்சிறு குழல் ஒரு நீர் இறைவி போன்றது. இதில் ஒருவழிக்கதவுகள் (Valves) இரண்டு இருக்கின்றன. ஒன்று குழலினுள் தண்ணீரை உறிஞ்சு

கிறது. மற்றொன்று குழலிலுள்ள தண்ணீரை உலோகக் குழாய் வழியாகப் பெரிய குழலினுள் செலுத்துகிறது. சிறிய உருளைக்கும் பெரிய உருளைக்குமுள்ள




படம் 113

வெட்டுவாய்ப் பரப்பு வேற்றுமையினால், இது, சிறியதொரு சக்தியைக்கொண்டு பெரிய பஞ்சுப் பொதிகளை நசுக்குதற்கு வேண்டிய பெரிய சக்தியைப் பெருவதற்கோர் சாதனமாகிறது. உருளைகளின் வெட்டு வாய்ப் பரப்புகளின் தகவோடு கைப்பிடியாகிய நெம்புகோலின் இயந்திர சாதகத்தையும் பெருக்க இந்த அச்சினது இயந்திர சாதகம் கிடைக்கும்.

நீர்மூழ்கிக் கப்பல் (Submarine) :—கார்டீஸியன் நீர்மூழ்கியின் விஷயத்தில் நாம் கண்ட தத்துவமே நீர்

மூழ்கிக் கப்பல்களிலும் பிரயோகிக்கப்படுகிறது. இக் கப்பல் நீரினுள் முழுகவேண்டுமானுல் இதனடியிலே யுள்ள பல அறைகள் நீரினுல் நிரப்பப்படும். இதனுல் கப்பலின் கனம் அதிகமாகிவிட, அது தண்ணீரினுள் முழுகிவிடும். அந்த நிலையிலே இக்கப்பல் முடுக்கு விசிரிகளால் (Propellors) முன்னேக்கித் தள்ளப்படுகிறது. இதன் பின்னுல் இருக்கும் படுகைச் சுக்கான்கள் (Horizontal rudders) இதை மேலும் கீழுமாகத் திருப்புகின்றன. இக்கப்பல் தண்ணீருக்கு மேலே வர வேண்டுமானுல் முற்கூறிய அறைகளினுள்ளே இறுகிய காற்று (Compressed air) செலுத்தப்படும். இதனுல் தண்ணீரெல்லாம் வெளியேறிவிடுவதால் கப்பல் லேசாகித் தண்ணீரின் மேலே மிதக்கும்.

புகைக்கூண்டுகளும் ஆகாயக் கப்பல்களும் :— புகைக்கூண்டு என்பது காற்றைவிட லேசானதொரு வாயு நிரம்பியுள்ள வலுவானதும் காற்றிறுக்கம் கொண்டதுமான பையாகும். இது மிகவும் லேசாக இருக்கும். இக்கூண்டின் நிறையும் அதனுள்ளிருக்கும் வாயுவும் சேர்ந்து, புகைக்கூண்டு வெளிப்படுத்தும் காற்றைவிட குறைவான நிறைகொண்டிருந்தால், அது காற்றிலே மேலெழும்பி மிதக்கும். ஒரு லிட்டர் கொண்ட நீரகத்தின் (Hydrogen) நிறை 0·09 கிராம். ஒரு லிட்டர் கொண்ட காற்றைவிட இது 1·2 கிராம் குறைவாக இருக்கும். எனவே, ஒரு லிட்டர் வாயு கொண்ட புகைக்கூண்டு 1·2 கிராம் எடை சக்தியோடு மேலே எழும்பும். இதையே ஒரு லிட்டர் நீரகத்தின் தூக்கும் சக்தி (Lifting power) 1·2 கிராம் எடை என்று சொல்லுவார்கள். கரியிருதீயதையின் (Carbon dioxide) நிறை ஒரு லிட்டருக்கு 0·75 கிராம் ; அதன் தூக்கும் சக்தி லிட்டருக்கு 0·54 கிராம் ஆகும். இவ்வாயு நீரகத்தைவிட மலிவானதாகும். ஆனுல்

நீரகம் நிரம்பியுள்ள புகைக்கூண்டு தூக்கும் எடை யிலே பாதி எடையைமட்டுமே இவ்வாயு நிரம்பியுள்ள புகைக்கூண்டு தூக்கமுடியும். ஒரு கன மீட்டரிலே 1,000 லிட்டர்கள் இருப்பதால் வாயுக்களின் தூக்கும் சக்தியை, ஒரு கன மீட்டருக்கு இத்தனை கிலோ-கிராம் என்றும் எடுத்துரைக்கலாம்.

வாயுக்களுக்குள்ளே மிகவும் லேசானது நீரகமே யாகும். ஆனால் அது விரைவிலே நெருப்பைப்பற்றும் இயல்பையுடையது. மகாயுத்தத்தின்போது ராணு வப் புகைக்கூண்டுகளிலே பரிதியம் (Helium) என்னும் ஒரு ஜடவாயு நிரப்பப்பட்டது. அது நெருப்புப்பற்ரு தது. ஆனால் நீரகத்தைப்போல இரண்டு படங்கு கன முள்ளது. அது நீரகத்தின் திறமையிலே 93% திறமை வாய்ந்தது. தீவிபத்திற்கு இடமில்லாதது. அமெரிக்காவிலுள்ள டாக்ஸாஸ் (Taxas), ஒக்லஹாமா (Oklahoma) என்னும் மாகாணங்களில் கிணறுகளிலே இவ்வாயு கிடைக்கிறது.

காற்று நெருங்கும் தன்மை வாய்ந்ததாகையால், பவனத்தின் அடிவாரத்திலே தரைக்கு அருகிலுள்ள காற்று, மேலேயுள்ள காற்றுப்படலங்களின் நிறையால் நெருக்கப்பட்டு மிகச் சுருங்கி நிற்கும். அதனால் பவ னத்தின் செறிவு தரைக்கு அருகிலே உச்ச நிலையிலே இருக்கும். மேலே செல்லச் செல்ல செறிவு குறைந்து கொண்டே போகும். ஆகையால் ஒரு புகைக்கூண்டு மேலே எழும்பும்போது மேலே செல்லச் செல்ல அதன் மிதப்பு சக்தி குறைந்துகொண்டே போகும். புகைக் கூண்டின் நிறையும் அதனுள்ளிருக்கும் வாயுவின் நிறை யும் சேர்ந்து, அப்புகைக்கூண்டினல் வெளியேற்றப் பட்ட காற்றின் நிறைக்குச் சமமாக ஆகும் வரையிலே, புகைக்கூண்டு மேலே சென்றுகொண்டே இருக்கும்.

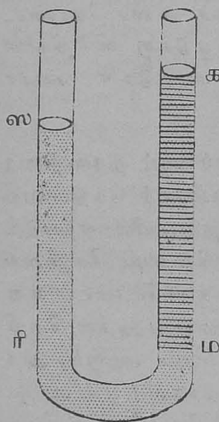
முதலெடுப்பிலேயே புகைக்கூண்டிலே வாயு முற்றிலும் நிரம்பி இருந்தால், பவனத்தின் மேற்பாகங்களை அடையும்போது, அது உள்ளேயிருக்கும் வாயுவின் இறுக்கத்தைத் தாங்கமாட்டாமல் வெடித்துவிடவும் கூடும்.

ஆகாயக்கப்பல்கள் (Airships):—இவை பெரிய புகைக்கூண்டுகளேயாகும். இவற்றின் முன்னே பெரிய முடுக்கு விசிறிகளும் பின்னே சுக்கான்களும் இருக்கின்றன. 4,000 அல்லது 5,000 குதிரை விசை கொண்ட பல காஸோலின் என்ஜின்கள் இம்முடுக்கு விசிறிகளை இயக்குகின்றன. இக்கப்பல்களின் கூண்டுகள் சுமார் 700 அடி நீளமுடையனவாகும்.

சமமான இறுக்கங்களைக் கொடுக்கும் திரவ நிரைகளைக்கொண்டு திரவங்களின் ஒப்புமைச் செறிவைக் காண: ஒரு திரவ நிரையினால் அதனடியில் ஏற்படும் இறுக்கம் அத்திரவ நிரையின் உயரத்தையும் செறிவையுமே சார்ந்து நிற்குமென்று முன்பு கண்டோம். $h$ என்பது திரவநிரையின் உயரமும், $d$ என்பது அதன் செறிவும், $g$ என்பது நிலக்கவர்ச்சி மாறிலியும் ஆனால், அத்திரவ நிரையினடியிலேற்படும் இறுக்கம் $hgd$ ஆகும் என்று கணக்கிட்டோம். இரண்டு வெவ்வேறு திரவ நிரைகள் ஒரே இறுக்கத்தைக்கொண்டிருந்தால், அவற்றின் செறிவுகளுக்கும் உயரங்களுக்கும் இடையிலேற்படும் உறவை, $h_1 d_1 = h_2 d_2$ என்று எடுத்துக்கூறலாம். எனவே $\frac{d_1}{d_2} = \frac{h_2}{h_1}$ ஆகும். இதில் இரண்டாவது திரவம் தண்ணீரானால், செறிவுத்தகவு முதல் திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவு ஆகும். எனவே முதல் திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவு $\frac{h_2}{h_1}$ க்குச் சமமாகும். இதில் $h_1$, $h_2$ என்பன முறையே ஒரே இறுக்கத்தைத்

தரும் நீர் நிரையின் உயரமும் திரவ நிரையின் உயரமு மாகும். இந்த முறையைக் கையாண்டு திரவங்களின் ஒப்புமைச் செறிவுகளைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

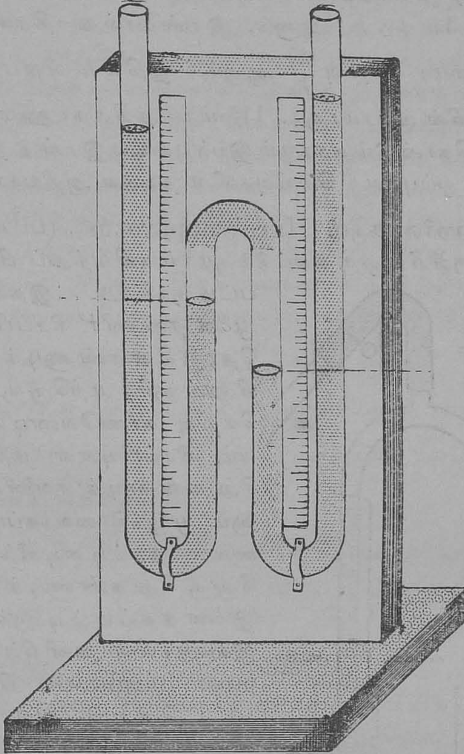
(1) குழாய்க்கவடு முறை: (**U**-tube) (படம் 114). இரண்டு திரவங்கள் ஒன்றோடொன்று கலக்கும் இயல்பற்றவையாக இருந்தால், அவற்றின் செறிவுகளை குழாய்க் கவட்டைக்கொண்டு நாம் ஒப்பிடலாம். கவட்டின் ஒவ்வொரு கிளையிலும் ஒவ்வொரு திரவத்தை இட்டு நிரப்பவும். குழாய்க் கவட்டைச் செங்குத்தாகத் தாங்கிப் பிடிக்கவும். திரவங்களின் ம என்னும் பரிசப் பரப்பின் மட்டத்திலிருந்து, இரண்டு திரவ நிரைகளின் ஸ, க என்னும் மேல்மட்டங்களின் உயரங்களை ஓர் அளவியால் அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். அவை முறையே $h_1$ $h_2$ என்று கொள்வோம். ம என்னுமிடத்திலும் அதனோடு ஒரே படுகைமட்டத்திலுள்ள ரி என்னும் புள்ளியிலும் திரவஇறுக்கம் சமமாகும்.



படம் 114

ஆகையால் மக என்னும் திரவ நிரையும் ரிஸ என்னும் திரவ நிரையும் ஒன்றையொன்று துலைப்படுத்துகின்றன. எனவே இந்நிரைகளின் உயரங்கள் முறையே $h_2$, $h_1$ ஆகையால் இத்திரவங்களின் செறிவுத் தகவு $\frac{h_1}{h_2}$ ஆகும். இதில் ஸரி என்னும் திரவம் தண்ணீரானுல் $\frac{h_1}{h_2}$ என்பது இரண்டாவது திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவு ஆகும்.

ஒரு திரவம் தண்ணீரோடு கலக்கும் இயல்புடைய தானல், இவ்விரண்டோடும் கலவாததாகிய பாதரசம்

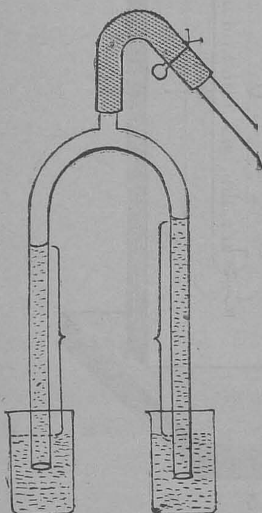


படம் 115

போன்ற மூன்ருவது திரவமொன்றைக் கவட்டின் அடிப் பாகத்தில் இட்டு, மற்றிரண்டு திரவங்களையும் முறையே ஒவ்வொரு கிளையில் இடவேண்டும். இதில் இரண்டு பரிசப்பரப்புகளும் ஒரே படுகை மட்டத்தில் நிற்கும்படி

யாக, திரவ நிரைகளின் உயரங்களைச் சரிப்படுத்திக் கொள்ளவேண்டும். இப்பரிசப்பரப்பின் மட்டங்களிலிருந்து, திரவங்களின் மேல்மட்டங்களின் உயரங்கள் முறையே $h_2, h_1$ ஆனால், இரண்டாவது திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவு $\frac{h_1}{h_2}$ ஆகும். இதில் $h_1$ என்பது நீர் நிரையின் உயரமாகும். 115-ம் படத்தில் காணும் கருவியைக்கொண்டும் கலக்கும் இயல்புடைய இரண்டு திரவங்களின் ஒப்புமைச் செறிவுகளின் தகவை அறியலாம்.

ஹேரின் கருவி (Hare's apparatus). (படம் 116). இக்கருவியில் ஒரு கவட்டுக்குழாய் கவிழ்த்துப் பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதன் ஒரு முனை தண்ணீர் நிரப்பியுள்ள தொரு சிறு கண்ணாடிக் குவளையினுள்ளும், மற்றொரு முனை செறிவு காணவேண்டிய திரவம் நிரப்பியுள்ள மற்றொரு சிறு கண்ணாடிக் குவளையினுள்ளும் முழுக்கி வைக்கப்பட்டுள்ளன. கவட்டினடியில் மற்றொரு சிறு கண்ணாடிக் குழாய் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இக்குழாயின் நுனியில் கவ்வியால் (pinchcock) பிடிக்கப்பட்டதொரு சிறு ரப்பர் குழாய் இறுக்கமாகச் செருகப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 116

இக்கவ்வியைத் தளர்த்தி விட்டுக் குழாயின் வழியாகக் காற்றைச் சிறிது உறிஞ்சினால், இரண்டு கிளைகளிலும் திரவங்கள் மேலேறும். இத்திரவங்கள் கவட்டினடி வரையில் மேலேறி ஒன்றோ

டொன்று கலந்துவிடாமல் பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும். இப்போது கவ்வியை இறுக்கிவிட்டால் கிளைகளில் மேலேறிய திரவங்கள் அப்படியே நிற்கும். இத்திரவ நிரைகள் மேல் நுனிகள் குழாய் கவட்டினடியில் தங்கி இருக்கும் காற்றோடு கலந்திருக்கின்றன. ஆகையால் அங்கே திரவ மட்டங்களின்மீதுள்ள இறுக்கம் ஒன்றுகும். இவ்வாறே திரவ நிரைகளின் அடிப்பாகமும் குவளைகளில் உள்ள திரவங்களின் மூலமாக பவனத்தோடு உறவு கொண்டிருக்கின்றன. ஆகையால் திரவ நிரைகளினடியிலுள்ள இறுக்கம் பவன இறுக்கத்துக்குச் சமமாகும். எனவே இரண்டு திரவ நிரைகளும் ஒரே இறுக்க வேற்றுமையைக் காட்டுகின்றன. ஆகையால் $h_1 d_1 = h_2 d_2$ ஆகும். அல்லது இரண்டு திரவங்களின் செறிவுத் தகவு $\frac{d_1}{d_2}=\frac{h_2}{h_1}$ ஆகும். இதில் இரண்டாவது ($h_2$) திரவம் தண்ணீராகும். எனவே $\frac{h_2}{h_1}$ என்னும் தகவு மற்றொரு திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவைக் குறிக்கும்.

இரண்டு திரவங்கள் ஒன்றோடொன்று கலக்கும் இயல்புடையனவாய் இருப்பினும், இக்கருவியைக் கையாண்டு அவற்றின் ஒப்புமைச் செறிவைக் காணலாகும்.

உதாரணம் **1.** பார்டின் பாரமானியின் வாசகம் 68 செ. மீ. உள்ளதொரு இடத்திலே, பவன இறுக்கத்தை ச.செ. மீட்டருக்கு இத்தனை டைன் என்று கணக்கிடுக. (பாதரசத்தின் செறிவு 13·6 கிராம்/க. செ. மீட்டர். $g=978$ செ. மீ/செக$^2$.

பாரமானிக் குழாயின் வாய் 1 ச. செ. மீ. இருப்பதாகக் கொள்வோம்.

இதனுல் மானியிலே ரசநிரையின் உயரம் மாறு படாது.

ரசமட்டத்திற்குமேல் நிற்கும் ரசநிரையின் பருமை = 68 × 1 = 68 க. செ. மீ.

அதன் எடை = 68 × 13·6 கிராம்.

இந்த எடை ஒரு ச. செ. மீ. பரப்பின் மீது இறுத்துவதால், பவனத்தின் இறுக்கம்

ச. செ. மீட்டருக்கு 68 × 13·6 = 924·8 கிராம் எடையாகும்.

அல்லது 924·8 × 978 = 904454·4|

டைன் | ச. செ. மீ. ஆகும்.

**உதாரணம் 2.** ஒரு குழாய்க் கவட்டினடியிலே (**U** tube) பாதரசம் இருக்கிறது. ஒரு கிளையினுள் எவ்வளவு உயரத்திற்குத் தண்ணீரை நிரப்பினுல், மற்ருெரு கிளையிலே பாதரசம் 2 அங். மேலே உயரும்.

$$\frac{\text{பாதரச நிறை}}{\text{தண்ணீரின் நிறை}} = \frac{\text{ரசத்தின் செறிவு}}{\text{தண்ணீரின் செறிவு}} = \frac{13.6}{1}$$

எனவே ஒரு அங்குல நீளமுள்ள பாதரச நிரை 13·6 அங்குல நீளமுள்ள நீரின் நிரையைத் தாங்கும்.

ஆகையால் ஒரு கிளையிலே பாதரசம் 2 அங். உயரம் மேலெழவேண்டுமானுல், மற்ருெரு கிளையிலே பாதரசத்தின் மீது 2 × 13·6 = 27·2 அங். உயரமுள்ள நீர் நிரை நிற்கவேண்டும்.

**உதாரணம் 3.** ஒரு திரவமட்டத்தின் கீழே 3 அடி ஆழத்திலேயுள்ள இறுக்கம் 30 பவு| ச. அங். 7 அடி ஆழத்திலே இறுக்கம் 50 பவு| ச. அங். திரவமட்டத்தில் உள்ள இறுக்கம் யாது?

திரவமட்டத்தில் இறுக்கம் H என்றும், ஒவ்வொரு அடி ஆழத்திற்கும் இறுக்கம் $x$ பவு| ச. அங். வீதம் அதிகரித்துக்கொண்டு போவதாகவும் கொள்வோம்.

3 அடி ஆழத்தில் இறுக்கம் $= H + 3x$
$= 30$ பவு| ச. அங்.

7 அடி ஆழத்தில் இறுக்கம் $H + 7x$
$= 50$ பவு| ச. அங்.

ஆகையால் $H + 7x - H - 3x = 4x$
$4x = 20$ பவு| ச. அங்.

$\therefore \quad x = 5$ பவு| ச. அங்.

இதை முதல் சமீகரணத்தில் ஈடிடவே
$H = 15$ பவு| ச. அங். ஆகும்.

எனவே திரவமட்டத்திலேயுள்ள இறுக்கம்
$= 15$ பவு| ச. அங்.

உதாரணம் **4**. பிராமா அச்சிலே இரண்டு குழல்களிலிருக்கும் பீச்சான் உருளைகளின் விட்டங்கள் முறையே 2 செ. மீ., 25 செ. மீ. ஆகும். சிறிய பீச்சான் மீது 1,000 கி. கிராம் எடையை வைத்தால் அந்த அச்சு எவ்வளவு எடையைத் தூக்கக்கூடுமென்று காண்க.

பீச்சான்களின் விட்டங்களின் தகவு $= 2 : 25$
எனவே அவற்றின் வெட்டுவாய்ப் பரப்புகளின் தகவு

$= 2^2 : 25^2$
அதாவது $= 4 : 625$ ஆகும்.

சிறிய பீச்சான் மீதுள்ள எடை = 1,000 கி. கிராம்.

$$\frac{\text{சிறிய பீச்சான் மீதுள்ள எடை}}{\text{பெரிய பீச்சான் தூக்கக்கூடிய எடை}}$$

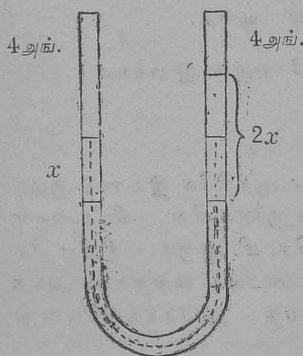
$$= \frac{\text{சிறிய வெட்டுவாய்}}{\text{பெரிய வெட்டுவாய்}} = \frac{4}{625}$$

எனவே அச்சு தூக்கக்கூடிய எடை

$$= \frac{1000 \times 625}{4}$$

= 1,56,250 கி. கிராம் ஆகும்.

உதாரணம் **5.** 8 அங். நீளமான கிளைகளையுடைய குழாய்க் கவட்டினுள்ளே தண்ணீர் விடப்பட்டது. பாதி உயரம்வரைத் தண்ணீர் அவற்றிலே நின்றது. இப்போது ஒரு கிளையினுள்ளே அது கொள்ளும்வரை எண்ணெய் விடப்பட்டது. எண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவு 2/3 ஆகும். எண்ணெய் நிரையின் நீளம் யாதாகும். (படம் 117)



படம் 117

படத்தில் கண்டபடி குழாய்க் கவட்டின் இரண்டு கிளைகளில் 4 அங்குலம் காலியாக இருக்கிறதென்று கொள்வோம். இப்பொழுது இடது கிளையில் பூராவாகவும் எண்ணெய் விடுவதாக வைத்துக்கொண்டு $x$ என்ற அளவு நீர்மட்டம் அந்தக் கிளையில் கீழே இறங்குவதாகக் கொண்டால்,

மொத்த எண்ணெய் உயரம் $(4+x)$. இதை $2x$ என்ற நீர்நிரை தூக்கவேண்டும். ஆகையால்

$$(4+x)\,\tfrac{2}{3} = 2x$$

எனவே $\frac{8}{3} + \tfrac{2}{3}x = 2x$

அல்லது $\frac{4}{3}x = \frac{8}{3}$

$$x = 2$$

எண்ணெயின் நிரையின் நீளம் 6 அங்குலம் ஆகும்.

---

## வினக்கள்

1. ஒரு கிணற்றினடியிலுள்ள இறுக்கம், அதே கிணற்றில் தண்ணீர் மட்டத்திற்குக் கீழே 4 அடி ஆழத்திலிருக்கும் இறுக்கத்தைப் போன்று நான்கு மடங்கு உள்ளது. பவன இறுக்கம் 30 அடி நீர் நிரைக்குச் சமமாக இருக்கிறது. இவற்றைக்கொண்டு கிணற்றிலே தண்ணீரின் ஆழத்தைக் கணக்கிடுக.

2. $d$ என்னும் செறிவு கொண்ட ஓடியிலே மேற்பரப்புக்கு அடியில் $h$ என்னும் ஆழத்திலுள்ளதொரு புள்ளியின் P என்னும் இறுக்கம் $P = hgd$ என்னும் தொடர்பினல் பெறப்படும் என்று காட்டுக.

பாரமானியின் உயரம் 30 அங்குல ரசநிரை என்று கொண்டு பவன இறுக்கத்தை ச. செ. மீட்டருக்கு இத்தனை டைன் என்று கணக்கிடுக.

(சென்னை 1922 மார்ச்.)

3. 'ஓடியினுள்ளே ஒரு புள்ளியினிறுக்கம்' என்பதை விளக்கிக் கூறுக. நிலக்கவர்ச்சிக்குட்பட்டு நிற்குமொரு ஓடியிலே ஒரே படுகைமட்டத்திலுள்ள இரு புள்ளிகளினிறுக்கம் சமமாகு மென்பதைக் காட்டுக.

(மைசூர் 1930.)

4. திரவத்தினுள் படுகை வாட்டத்திலே அமிழ்த்தப்பட்டுள்ள ஒரு பரப்பின் மீதேற்படும் பயனிலை அழுத்தம், திரவ மட்டத்தின் கீழ் பரப்பு அமிழ்ந்துள்ள ஆழத்திற்கும், திரவத்தின் செறிவுக்கும் ஏற்ப நேராகவுள்ளது என்பதைக் காட்டுவதொரு பரிசோதனையை விவரிக்க.

25 செ. மீ. ஆழமும், 0·875 ஒப்புச் செறிவும் கொண்டதொரு பெட்ரோல் படலம், 30 செ. மீ.

ஆழம் கொண்டதொரு தண்ணீர்ப் படலத்தின்மீது மிதக்கிறது. எண்ணெய்ப்படலத்தின் மேல்மட்டத்திற்கும் தண்ணீர்ப் படலத்தின் அடி மட்டத்திற்கும் இடையிலுள்ள இறுக்க வேற்றுமையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை டிச. 1921.)

5. $d$ என்னும் செறிவு கொண்ட திரவத்தின் மட்டத்திற்கு அடியிலே $h$ என்னும் ஆழத்திலுள்ள தொரு புள்ளியினிறுக்கம் $hgd$ என்று காட்டுக.

ஒரு **U** குழாயின் இரு கிளைகளின் வெட்டுவாய்ப் பரப்புகள் முறையே 1 ச. அங்., $\frac{1}{4}$ ச. அங். ஆகும். அகன்ற வாய் ஆய்வு சாலையின் கரியாவிக்குழாயோடு இணைக்கப்பட்டபோது அதிலுள்ள தண்ணீர் 1 அங். கீழிறங்கிற்று. கரியாவியின் இறுக்கத்தை ச. செ. மீட்டருக்கு இத்தனை டைன் என்று கணக்கிடுக.

$$\left[\begin{array}{c}\text{பாரமானியின் உயரம் 76 செ. மீ.}\\ g = 978 \text{ செ. மீ./செக}^2.\end{array}\right]$$

(சென்னை செப். 1929.)

6. ஒரு திரவத்தைப்பற்றிய வரையிலே 'அழுத்தம்' 'இறுக்கம்' என்னும் பதங்களின் வேற்றுமையை எடுத்துக் கூறுக.

ஒரு நீரியல் அச்சின் பீச்சான் 3" விட்டம் கொண்டது. அதன் குழல் 30" விட்டம் கொண்டது. பீச்சான் தண்டு 12′ நீளம்கொண்ட ஒரு நெம்புகோலின் திருப்பகத்திலிருந்து 2′ தூரத்திலே இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த அச்சு 5,000 பவு. எடை அழுத்தத்தைக் கொள்ள வேண்டுமானல் நெம்புகோலின் நுனியிலே எவ்வளவு சக்தியைப் பிரயோகிக்கவேண்டும்? நீரியல் அச்சிலே தண்ணீரின் இறுக்கத்தை அளவிடக்கூடிய தொரு கருவியை வருணிக்கவும்.

(சென்னை 1929 மார்ச்.)

7. எந்த இயல்புகளிலே ஒரு ஓடி திடப்பொருளி னின்றும் வேறுபடுகிறது. 'ஒரு புள்ளியினிறுக்கம்' என்றால் என்னவென்று விளக்கிக் கூறுக. அதற்குரிய தொரு வாய்பாட்டைக் காண்க.

இடையில் வெட்டப்பட்ட கூருருளை வடிவான ஒரு கலத்தினுள் நீர் நிறைந்திருக்க அதன் பீடத்தின் மீதேற்படும் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடுக. பீடத்தின் பரப்பு 20 ச. செ. மீட்டரும் நீர்மட்டத்தின் உயரம் 30 செ. மீட்டரும் ஆகும்.

(சென்னை 1923 மார்ச்.)

8. U குழாயையும் மற்றும் வேண்டிய சாதனங் களையுங்கொண்டு எவ்வாறு மண்ணெண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவைக் காண்பாய்? இதன் செயல் முறையில் ஒவ் வொரு படியையும் விளக்கிக் கூறுக.

ஒரு கட்டிடத்தின் மேல் மாடியிலும் கீழ்தளத்தி லும் ஒரு பாரமானியின் வாசகம் முறையே 29·905, 29·949 அங். இருந்தன. பாதரசத்தின் செறிவும், காற்றின் செறிவும் முறையே 13·56 கிராம்|க. செ. மீ. 0·001239 கிராம்|க. செ. மீ. ஆனல் கட்டிடத்தின் உயர மென்ன?

(சென்னை 1927 மார்ச்.)

9. செறிவுக்கும், ஒப்புச் செறிவுக்கும் வேற்றுமை காண்க.

ஒரு U குழாயைக்கொண்டு உப்புக்கரை நீரின் செறிவை எவ்வாறு காண்பாய் என்று திருத்தமாக விளக்குக. இடையிலே நீ கையாளக்கூடிய சமீகரணங் களை முதலில் வடித்துக் காட்டுக.

(சென்னை செப். 1931.)

10. ஒரு U குழாயின் ஒரு கிளையிலே தண்ணீரும் மற்றொரு கிளையிலே எண்ணெயும் நிற்கின்றன. இவை யிரண்டும் அடியிலுள்ள ரசநிரையால் பிரிக்கப்பட்டுள் ளன. நீர்நிரையின் உயரம் 50 செ. மீ. எண்ணெய் நிரையின் உயரம் 47 செ. மீ. இப்போது ரசநிரை 5 மி. மீ. உயரம் இரண்டாவது கிளையிலே அதிகமாக ஏறி நிற்கிறது. பாதசரத்தின் ஒப்புச் செறிவு 13·6. எண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவு காண்க.

11. ஒரு ஓடியினுள்ளே ஒரு புள்ளியின் இறுக்கத் திற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. ஆய்வுச்சாலையில் கிடைக்கும் கரியாவி (Coal gas) யின் இறுக்கத்தை எவ்வாறு காணலாம் என்று விவரிக்கவும்.

ஒரு ஹேரின் கருவியில் செங்குத்தான 35·4 செ. மீ. கொண்ட செப்புக்கந்தகைக்கரை நீர் 40·8 செ. மீ. கொண்ட நீர்நிரையினால் துலைப்படுத்தப்படுகிறது. கரைநீரின் செறிவையும் மேலேயுள்ள காற்றின் இறுக் கத்தையும் கணக்கிடுக.

(சென்னை 1920 அக்.)

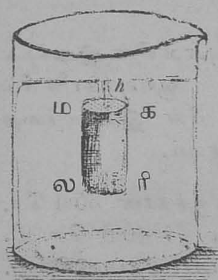
---

# அத்தியாயம் 13



## ஆர்கிமிடியின் தத்துவம், மிதக்கும் பொருள்கள்
## **Principle of Archimedes and Floating Bodies**

ஓடியில் முற்றும் முழுகியதொரு பொருளின் மீதேற்படும் பயனிலை அழுத்தம் :—*முதலில், திரவத்தினுள் செங்குத்தாக நிற்கும் நிலையில் முழுகி வைக்கப்பட்ட, ஸரிகம என்னுமொரு உருளையை எடுத்துக்கொள்ளவும். (படம் 118). இதன் வெட்டுவாய் a என்றும், நீளம் l என்றும், இது முழுகி நிற்கும் திரவத்தின் செறிவு d என்றும் கொள்வோம். உருளை மேல் முனை திரவ மட்டத்தின் கீழ் h என்னும் ஆழத்தில் நிற்பதாக வைத்துக்கொள்வோம்.*




படம் 118

*இப்போது இவ்வுருளையின்மீது தொழிற்படும் நீரியல் இறுக்க-சக்திகள் வருமாறு :—*

*(1) உருளையின் வளைவான புறப்பரப்பின் மீது ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் தொழிற்படும் இறுக்க சக்திகள். (2) உருளையின் மேல் முகத்தின் மீது கீழ் நோக்கித் தொழிற்படும் அழுத்தம். (3) உருளையின் கீழ் முகத்தின் மீது மேனோக்கித் தொழிற்படும் அழுத்தம். இவற்றிலே (1) வது சக்திகளின் பயனிலை சூனியமாகும் என்பது வடிவியல் சம சீர்மையால் (Geometrical Symmetry) பெறப்படும். மேலும் உருளைக்குப் படுக்கைத் திசையிலே இயக்கமின்மையும் இதையே நிரூபிக்கும். ஆகையால் நாம் (2), (3) வது சக்திகளைப் பற்றிமட்டுமே விசாரிக்கவேண்டும்.*

உருளையின் மேல் முகத்தின் மீது கீழ் நோக்கித் தொழிற்படும் சக்தி, $(h \times g \times d \times a + p \times a)$ ஆகும்.

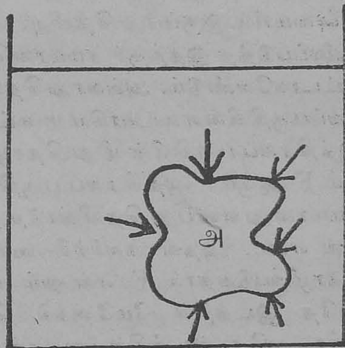
இதில் $p$ என்பது பவன இறுக்கமாகும்.
உருளையினடியில் மேனோக்கித் தொழிற்படும் சக்தி

$$\{(h+l)\, g \times d \times a + p \times a\}.$$

எனவே இவற்றின் பயனிலைச் சக்தி

$$\{(h+l) g \times d \times a + pa\} - \{hg \times d \times a + pa\} = l \times g \times d \times a.$$

இது நிமிர்வையாக மேனோக்கித் தொழிற்படுகிறது. இதில் $la$ என்பது உருளையின் பருமையாகும். $d$ என்பது திரவத்தின் செறிவு. ஆகையால் $lgda$ என்பது உருளைக்குச் சமமான பருமைகொண்ட திரவத்தின் எடையாகும். எனவே திரவத்திலுள் முற்றும் முழுகிய இப்பொருளின் மீதுதொழிற்படும் பயனிலை அழுத்தம், அதன் பருமைகொண்ட திரவத்தின் எடைக்குச் சமமாகும். மேலும் இச் சக்தி செங்குத்தாக மேனோக்கித் தொழிற்படுகிறது.



படம் 119

யாதோ ஒரு ஒழுங்கற்ற வடிவம் கொண்ட தொரு பொருள் திரவத்தில் முற்றும் முழுகி இருக்கும்போது அதன்மீதேற்படும் நீரியல் அழுத்தத்தைக் காண:— அ என்னும் ஒரு பொருள் ஒரு திரவத்தில் முற்றிலும் முழுகி இருப்பதாகக் கொள்வோம். (படம் 119). இதன் மேற் பரப்பின்மீதுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் நீரியல் அழுத்த

சக்திகள் தொழிற்படுகின்றன. இச்சக்திகளெல்லாம், தாம் தொழிற்படும் புள்ளிகளைக் கொண்டிருக்கும் சிறு பரப்புகளுக்கு லம்பமாகத் தொழிற்படுவனவாம். இவைகளின் பயனிலையாகிய F ஒன்றைமட்டுமே நாம் காணவேண்டியிருக்கிறது.

நிற்க அ-வின் பரப்பின் மீதுள்ள பலவேறு புள்ளிகளினிறுக்கம் அப்புள்ளிகளின் ஆழத்தைச் சார்ந்ததேயன்றி, பரப்பின் இயல்பைச் சற்றும் சார்ந்ததல்ல என்பது தெளிவு. எனவே அ என்னும் பொருளை நீக்கிவிட்டு, அதே வடிவமும் அளவும்கொண்ட திரவப் பகுதியை அவ்விடத்தில் வைத்திருப்பதாகக் கற்பனை செய்துகொள்வோம். இத்திரவப் பகுதியின் மீதும் அ-வின் மீது தொழிற்பட்ட அதே சக்திகள், அதே அளவும் திசையும் கொண்டனவாய்த் தொழிற்படும். எனவே நாம் மேலே எடுத்துக் கூறிய F என்னும் சக்தி மட்டுமே இத்திரவப்பகுதியின் மீது தொழிற்படும். இச்சக்தி தொழிற்படும்போதும் அத்திரவப்பகுதி சமநிலைமையில் இருப்பது தெளிவு. எனவே இச்சக்தியைத் துலைப்படுத்த இதற்குச் சமமானதொரு சக்தி தொழிற்பட்டாகவேண்டும். அவ்வாறு தொழிற்படும் சக்தி அத்திரவப்பகுதியின்எடையாகிய $w$ மட்டுமேயாகும். எனவே இத்திரவப் பகுதியின் மீது தொழிற்படும் நீரியல் அழுத்தம் F ஆகும். அத்திரவப் பகுதியின் எடை ($w$)வுக்குச் சமமானது என்பது தெளிவாகிறது. அத்திரவப் பகுதியின் எடை அதன் கவர்ச்சி மையத்தில் கீழ் நோக்கி தொழிற்படுவதால் F என்னும் பயனிலை அழுத்தமும் அதே இடத்தில் மேனோக்கி தொழிற்படவேண்டும். நிற்க, அதே இடத்தில் அ என்னும் பொருள் நின்றபோதும், இதே F என்னும் நீரியல் அழுத்தம் அதன் மீதும் மேனோக்கித் தொழிற்பட்டது. எனவே அ என்னும் பொருளின் எடையை இது குறைத்துவிடும்.

அ-வின் எடை W ஆனல் திரவத்தில் முழுகி இருக்கும் போது அதன் எடை (W—$w$) ஆகும். ஆனல் $w$ என்பது அ-வின் பருமையையே கொண்ட திரவப் பகுதியின் எடையாகும்.

ஆகையால் "யாதேனுமோரு போருள் ஒரு திரவத்தில் முற்றிலும் முழுகி நின்றல், அதன் எடை, குறைவு பட்டதாகத் தோன்றும். இவ்வேடைக் குறைவு அப்போருளின் பருமையையே தனது பருமையாகக் கோண்ட அத்திரவப் பகுதியின் எடைக்குச் சமம்" என்று நாம் முடிவு காண்கிறேம். இம்முடிபே ஆர்கிமிடியின் தத்துவம் எனப்படும்.

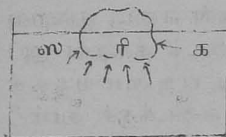
இதை 'ஆர்கிமிடிஸ்' என்னும் யவன அறிஞர் பல நூற்றுண்டுகளுக்கு முன் தற்செயலாய்க் கண்டு பிடித்தார். ஆதலின் இது அவரது பெயரோடு சேர்த்து வழங்கப் படுகிறது. இதை எடுத்துக்கூறும் முறை வருமாறு :—

"திரவத்திலே முழுகி இருக்கும் ஒரு போருள், தான் முழுகியதால் வேளியேற்றிய திரவத்தின் எடையளவு, தன் எடையில் குறைவு படுவதாகத் தோன்றுகிறது". இவ்வாறு பொருள்கள் திரவத்திலே எடைக் குறைவு காண்பிக்கும் இயல்பை 'மிதப்பு' (Buoyancy) என்றும், பொருள் திரவத்தினுள்ளே அடைத்து நின்ற இடத்திலே திரவமே நிரம்பி இருந்தால் அதன் கவர்ச்சி மையமாக இருக்கக்கூடிய புள்ளியை மிதப்பு மையம் (Centre of buoyancy) என்றும் சொல்லுவார்கள்.

ஒரு பொருள் திரவத்தினுள்ளே முற்றிலும் முழுகி விடாமல் அதன் ஒரு பகுதி நீரில் முழுகி இருக்க, மற்றெரு பகுதி நீருக்கு வெளியே நின்றலும் இதே தத்துவத்தைப் பிரயோகிக்கலாம்.

ஒரு பொருள் மேற்கூறியவாறு திரவத்தின் மீது மிதந்துகொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். அந்தப்

பொருளில் ஸரிக என்னும் பகுதி மட்டும் திரவத்தினுள் முழுகி இருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். (படம் 120). இந்தப் பகுதியின் பரப்பின் மீதுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியிலும், அதைச் சூழ்ந்துள்ள பரப்புக்குச் செங்குத்தாக நீரியல் சக்திகள் தொழிற்படுவனவாம். இச்சக்திகளின் பயனிலை ஒன்றுண்டு என்றும், அது ஸரிக என்னும் இடத்தை அடைக்கக்கூடிய திரவத்தின் எடைக்குச் சமம் என்பதையும் நாமறிவோம். எனவே "ஒரு பொருள் திரவத்தில் மிதக்கும்போது, அதன் எடையும் அப்பொருள் வெளியேற்றிவிடும் திரவத்தின் எடையும் சமமாகும் என்று தெரிகிறது". இதை மிதவை விதி என்று கூறுவார்கள். இந்த விதியை ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தின் விளைவாகவும் நேரே காணலாம். அது வருமாறு:—மிதக்கக்கூடியதொரு பொருளை, மெல்லிய சரட்டினால் கட்டித் தராசின் இடது கொக்கியிலிருந்து தொங்கவிட்டு, அதன் எடையாகிய $w_1$ என்பதைக் காண்போம். ஒரு குவளைத் தண்ணீரை இதனடியில் கொண்டுவந்து, பொருளை தண்ணீரில் முழுகுமாறு வைத்தால், அது தன் வயமாக மிதக்கும். இப்போது தராசிலே தாக்கும் அதன் எடை $w_2 = 0$ என்று தராசு காட்டும். எனவே தண்ணீரிலே இப்பொருளின் எடைக்குறைவு $(w_1 - w_2) = (w_1 - 0) = w_1$. இந்த எடைக்குறைவே அப்பொருளினால் வெளியேற்றப்பட்ட தண்ணீரின் எடையாகும் என்று ஆர்கிமிடியின் தத்துவம் எடுத்துக் கூறுகிறது. எனவே மிதக்கும் பொருளின் எடையும் இதற்கு சமமாக இருக்கவேண்டும்.

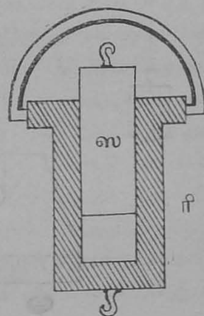


படம் 120

மேலே கண்டவாறு ஆர்கிமிடியின் தத்துவமும் அதன் விளைவாகிய மிதவை விதியும், ஓடியியல் விதி

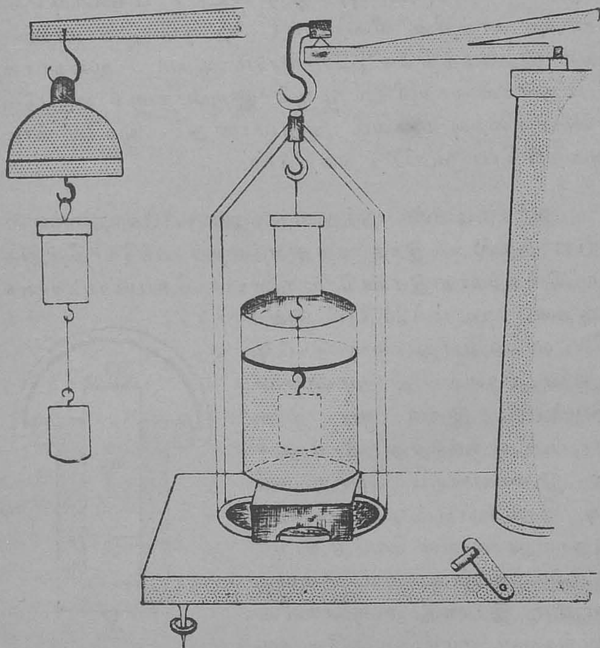
களின் விளைவுகளேயாகும். ஆகையால் இந்த விதிகள் திரவங்களைப் போலவே வாயுக்கள் விஷயத்திலும் சரியாகும். சாமானியமாய்ப் பொருள்களெல்லாம் பவனமாகிய வாயு சமுத்திரத்திலே முழுகி இருக்கின்றன. ஆகையால் அவற்றிற்கு எடைக்குறைவு ஏற்பட்டே தீரும். எனவே சாமானியமாய் நாம் எடை என்று காணுவதெல்லாம், இவ்வெடைக்குறைவு நிகழ்ந்த பின் மிகுந்துள்ள எடையேயாகும். ஆனால் காற்றின் செறிவோ மிகக்குறைவு; ஒரு லிட்டர் பருமையுள்ள ஈரமற்ற காற்றின் நிறை, 0°C சூட்டிலே, சாமானிய பவன இறுக்கத்திலே 1·293 கிராம் ஆகும். ஆகையால் பொருள்கள் காற்றிலே முழுகி இருப்பதனால் ஏற்படும் எடைக்குறைவு மிகவும் அற்பமானது. ஆகவே நாம் அதைப் பொருட்படுத்துவதில்லை.

ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல் :—இந்த தத்துவத்தைப் பரிசோதித்துக் காட்டுவதற்காக இரண்டு உருளைகள் செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 121(1)). இவற்றில் ஸ என்பது ஒரு கெட்டி உருளை, ரி என்பது குழலுருளை (Socket). இதன் அடி முனை மூடப்பட்டிருக்கிறது. ரி-யினுள் ஸ இறுக்கமாய்ப் பொருந்தும்படி செய்யப்பட்டிருக்கிறது. அதாவது ஸ-வின் வெட்டு வாயும் ரி-யின் உள்வாயும் சமம். மேலும் இரண்டு உருளைகளின் நீளங்களும் சமம். எனவே ஸ-வின் பருமையும் ரி-யின் அகப் பருமையும் சமமாகும். ரி-யினடியில் ஸ-வை தொங்கவிடும்படி கொக்கிகள் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 121 (1)

ஸ-வை ரி-யினடியில் தொங்கவிட்டு, இரண்டையும் ஒரு நீரியல் தராசின் (Hydrostatic balance) குட்டையான இடது தட்டினடியில் தொங்கவிடவும். வலது தட்டிலே எடைகட்டிச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது ஒரு நீர் நிரம்பிய குவளையை ஸ-வினடியில் கொண்டுவந்து, ஸ அத்தண்ணீரில் முற்றும் முழுகும்படிச் செய்யவும். உடனே தராசு சாய்ந்து வலது தட்டிலுள்ள எடை மிகை என்று காட்டும்.



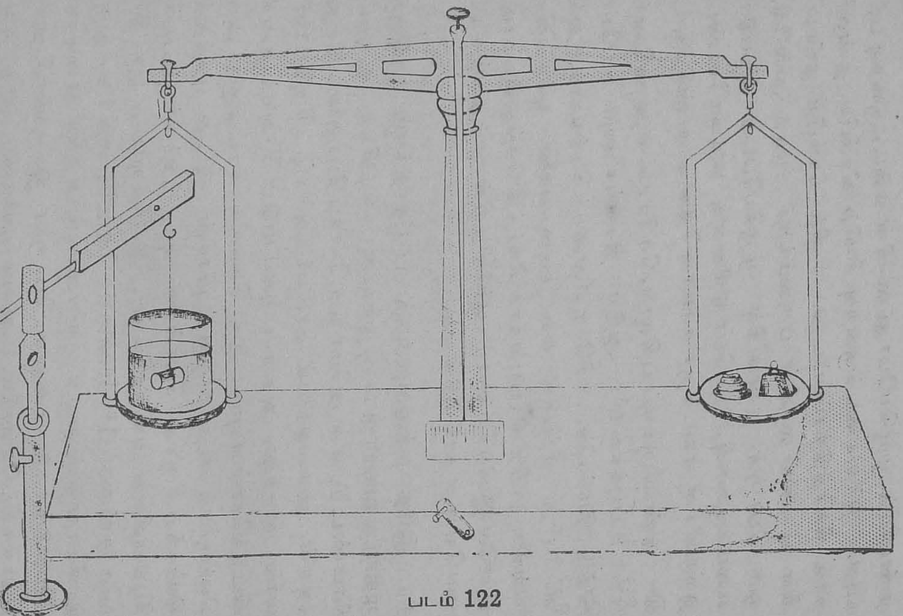
படம் 121 (2)

ஆனால் நாம் ரி-யினுள் தண்ணீரை வார்த்து அதை நிரப்பினால், அது முற்றும் நிரம்பியவுடனே, மறுபடி

யும் தராசு துலைப்பட்டு நிற்பதைக் காணலாம். எனவே தண்ணீரில் முழுகியபோது ஸ-வின் எடை, குறைவு பட்டது. இந்த எடைக்குறைவு ரி-யில் நிரம்பிய தண்ணீரால் நிவர்த்திக்கப்பட்டது. ரி-யில் நிரம்பிய தண்ணீரின் பருமை ஸ-வின் பருமைக்குச் சமம். எனவே, ஒரு பொருள் தண்ணீரில் முழுகியபோது ஏற்படும் எடைக்குறைவு, அப்பொருளினளவு பருமைகொண்ட தண்ணீரின் எடைக்குச் சமமானதென்று காண்கிறோம்.

தண்ணீருக்குப் பதிலாக, கெரோஸின், எண்ணெய்கள், உப்புக்கரைநீர், ஆகிய திரவங்களையும் உபயோகித்து, மேற்கண்ட பரிசோதனையைச் செய்யலாம். அவ்வப்போது ஏற்படும் எடைக்குறைவுகளை அதே திரவங்களை ரி-யில் நிரப்புவதால் நிவர்த்தி செய்துவிடலாம். எனவே இவையெல்லாம் ஆர்கிமிடியின் தத்துவம் உண்மையென்று காட்டுகின்றன.

இதே தத்துவத்தைத் பரிசோதிக்கும் மற்றொரு முறை வருமாறு :—ஒழுங்கான வடிவியல் உருவம் கொண்ட A என்னுமொரு உலோகப் பொருளை எடுத்து அதன் அளவைகளைக் காலிபர் அல்லது திருகுமானியால் அளந்து, அதன் பருமையாகிய V-யைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளவும். ஒரு மெல்லிய சரட்டினால் அப்பொருளைக் கட்டி, ஒரு தராசின் இடது புறத்துக் கொக்கியிலிருந்து தொங்கவிடவும். அந்தத் தட்டின் மீது கவிந்து அதைத் தொடாது நிற்கும்படி ஒரு நீரியல் தவிசை (Hydrostatic bench) வைத்து, ஒரு காலியான கண்ணாடிக் குவளையையும் அதன்மீது வைக்க வேண்டும். A என்னும் பொருளை இக்குவளையினுள் தொங்கவிடவேண்டும். ஆனால் குவளையை அது எவ்விதத்திலும் தொடாதபடி பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும். இப்போது வலது தட்டில் எடைகளையிட்டு, A-யின் எடையாகிய $w_1$ கிராமைக்கண்டு குறித்துக்



படம் 122

கொள்ளவும். இப்போது குவளையினுள் தண்ணீரை வார்த்து, A முற்றிலும் தண்ணீரினுள் முழுகி நிற்கும் படி செய்யவும். தராசு ஆடும்போது A சற்றும் தண்ணீருக்கு வெளியே வருதல் கூடாது. A-யின் மீதும், அதைப் பிணித்துள்ள சரட்டின் மீதும், காற்றுக் குமிழிகள் ஒட்டி நிற்காதவாறு பார்த்துக் கொள்ள வேண்டும். மறுபடியும் நிறுத்து, நீரினுள் முழுகி இருக்கும் A-யின் எடையாகிய $w_2$ கிராமைக் காணவும். இப்போது A-யின் எடைக்குறைவு, அல்லது A-யின் மீதேற்படும் நீரின் மேனோக்கும் அழுத்தம் $(w_1 - w_2)$ கிராம் ஆகும். A-யினளவு பருமைகொண்ட தண்ணீரின் எடை $v$ கிராம் ஆகும். இந்த இரண்டு ராசிகளும் சமமாக இருப்பதைக் காணலாம். எனவே இதுவும் ஆர்கிமிடியின் தத்துவம் உண்மையென்று காட்டுகிறது.

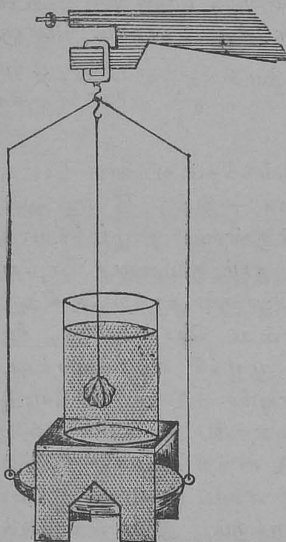
ஒரு பொருள் திரவத்திலே முழுகி நிற்பதால் அத் திரவத்தைக்கொண்டிருக்கும் கலத்தின் மீது ஏற்படும் அதிக அழுத்தம் :—ஒரு தராசின் இடது தட்டிலே நீர் நிரம்பி உள்ளதொரு கண்ணாடிக் குவளையை வைத்துத் தராசில் எடைகட்டிக்கொள்ளவும். (படம் 122). V க. செ. மீ. பருமைகொண்டதும், நீரில் முழுகக்கூடியதுமான A என்னுமொரு பொருளை, ஒரு மெல்லிய சரட்டினால் கட்டி, அதைக் குவளையிலுள்ள நீரினுள் முழுக்கி குவளையைத் தீண்டாது நிற்கும்படி, புறம்பானதொரு பிடிப்பிலிருந்து தொங்கவிடவும். காற்றுக்குமிழிகள் ஏதேனுமிருப்பின் அவற்றை வெளியேற்றி விடவும். இப்போது தராசு இடதுபுறம் சாயும். வலது தட்டிலே V கிராம் எடைகளைப் பின்னும் இட்டால் தராசு துலைப்பட்டு நிற்கும். இதுவே A-யினால் வெளியேற்றப் பட்ட தண்ணீரின் எடையாகும். A நீரில் முழுகியதால், A-யினளவு பருமைகொண்ட தண்ணீர் வெளியேறிப் பரவி குவளையினுள் நீர்மட்டம் உயர்ந்தது. இதனால்

குவளையினடியில் அழுத்தமும் அதிகரித்தது. $a$ என்பது குவளையின் வெட்டுவாயும், $h$ என்பது நீர் மட்டத்தின் உயர்வும் ஆனல், $ahg$ என்பது அதிக அழுத்தமாகும். ஆனல் $ah$ என்பது A-யின் பருமையாகிய V ஆகும். எனவே குவளையின் மீது ஏற்பட்ட அதிக அழுத்தம் A-யின் பருமைகொண்ட நீரின் எடைக்குச் சமமாகும்.

ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தின் பிரயோகம் :—பொருள்களின் ஒப்புமைச் செறிவைக் காண்பதற்கு ஆர்கிமிடியின் தத்துவம் பெரிதும் பயன் படக்கூடிய தோன்றுகும். ஒரு பொருள் நீரில் முழுகுவதால் ஏற்படும் எடைக்குறைவு, அப்பொருளினளவு பருமையே கொண்ட நீரின் எடைக்குச் சமமாகும். எனவே அப்பொருளின் எடையை நீரில் அதன் எடைக்குறைவோடு ஒப்பிட்டால், நாம் அப்பொருளின் ஒப்புமைச் செறிவைக் காணலாம்.

ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தால் ஒரு பொருளின் ஒப்புமைச் செறிவைக்காண :—($a$) திடப்பொருள்கள் (நீரில் கரையாதன) :—இந்தப் பொருளை ஒரு சரட்டினுல் கட்டி, நீரியல் தராசின் இடது கொக்கியில் தொங்கவிட்டு அதன் எடையாகிய $w_1$ ஐக்காணவும். (படம் 123.) நீரியல் தராசின் மீது ஒரு குவளைத் தண்ணீரை வைத்து, தொங்கவிட்ட பொருளை அதனுள் முழுகச் செய்து, அதன் எடையை மறுபடியும் காணவும். இந்த எடை $w_2$ என்று கொள்வோம். இப்பொருளின் ஒப்புமைச் செறிவு $\frac{w_1}{(w_1 - w_2)}$ ஆகும். ($b$) திரவங்கள் :—ஒப்புமைச் செறிவு காணவேண்டிய திரவத்திலே முழுகக் கூடியதும், அதிலே கரையாததுமான ஒரு திடப்பொருளை எடுத்து, அதை முதலில் காற்றிலே எடையிட்டுக்கொள்ளவும். இவ்வெடை $w_1$ என்று கொள்வோம். பிறகு

இதைத் தண்ணீரிலே மூழ்க்கி, மறுபடியும் அதன் எடையாகிய $w_2$ ஐக் காணவும். இப்போது இதே பொருளை ஒப்புமைச் செறிவு காண வேண்டிய திரவத்தில் மூழுக்கி அதன் எடையாகிய $w_3$ ஐக் காணவும். நீரிலேற்பட்ட எடைக்குறைவு $(w_1 - w_2)$ ஆகும். திரவத்திலேற்பட்ட எடைக்குறைவு $(w_1 - w_3)$ ஆகும். இவை இரண்டும் நாம் எடுத்துக் கொண்ட திடப்பொருளின் பருமையே தமது பருமையாகக்கொண்ட தண்ணீரின் எடையும், திரவத்தின் எடையும் ஆகும். எனவே அத்திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவு $\frac{w_1 - w_3}{w_1 - w_2}$ ஆகும்.



படம் 123

(c) நீரில் கரையக்கூடியதோரு பொருளின் ஒப்புமைச் சேறிவுகாண :—இந்தப் பொருள் கரையக் கூடாததொரு திரவத்தை எடுத்துக்கொள்ளவும். இது கிடைக்காவிட்டால் இதே பொருளின் பூரணக் கரைநீரை அல்லது தேவிட்டிய கரைநீரை (Saturated Solution) எடுத்துக்கொள்ளலாம். அப்பொருளை முதலில் காற்றிலும் பிறகு இத்திரவத்திலும் எடை காணவும். இவை முறையே $w_1$, $w_2$ ஆனால், அத்திரவத்தோடு ஒப்பிட்ட அப்பொருளின் ஒப்புமைச்செறிவு $\left(\frac{w_1}{w_1 - w_2}\right)$ ஆகும். இப்போது செறிவுக்கலம் அல்லது

ஆர்கிமிடியின் முறை இவற்றிலொன்றைக்கொண்டு, அத் திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவைக் காணவும். இது $d$ என்று கொண்டால் நாம் எடுத்துக்கொண்ட பொருளின் நீரோடு ஒப்பிட்ட ஒப்புமைச் செறிவு $\frac{w_1}{w_1 - w_2} \times d$ ஆகும்.

($d$) தண்ணீரிலே மிதக்கக்கூடியதோரு பொருளின் ஒப்புமைச் செறிவு காண :—இதில் B என்னும் ஒரு பித்தளை அல்லது ஈயக்குண்டை நீர்முழுக்கியாக (Sinker) உபயோகிக்கலாம். நாம் ஒப்புமைச் செறிவு காணவேண்டிய A என்னும் பொருளை காற்றிலே நிறுக்கவும். இந்த எடை $w_1$ என்று கொள்வோம். நீர் முழுக்கியைத் தண்ணீரினுள் முழுக்கி நிற்க வைத்து, அதன் எடை $w_2$ ஐக் காணவும். A யை B யோடு பிணைத்து, நீரில் முழுகி நிற்கவைத்து, அவற்றின் எடையாகிய $w_3$ ஐக் காணவும். A காற்றிலேயும் B நீரிலேயும் நிற்கும்போது அவற்றின் எடை $(w_1 + w_2)$ ஆகும். இது $w_3$ ஐவிடப் பெரிதாக இருக்கும். இவற்றின் வேற்றுமை A யின் எடைக்குறைவுக்குச் சமமாகும். எனவே A யின் எடைக்குறைவு $\{(w_1 + w_2) - w_3\}$ ஆகும். எனவே A யின் ஒப்புமைச் செறிவு $\frac{(w_1)}{(w_1 + w_2 - w_3)}$ ஆகும்.

ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தை இது போன்ற பல வழிகளில் பிரயோகிக்கலாம். அவற்றுள் சில வருவாறு :—

நீரியல் தராசினல் ஒரு பொருளின் பருமையைக் காண :—(1) பருமை காண வேண்டிய பொருளை ஒரு மெல்லிய சரட்டினல் கட்டி, அதைத் தராசின் இடது கொக்கியினடியில் தொங்கவிட்டு அதன் எடையைக் காணவும். இது $w_1$ என்று கொள்வோம். இப்போது அதை ஒரு கண்ணாடிக் குவளையிலுள்ளதொரு திரவத்தில் முழுக்கி வைத்து அதன் எடையைக் காணவும்.

இந்த எடை $w_2$ என்று கொள்வோம். இவ்விரண்டிற்குமுள்ள வேற்றுமை, நாம் எடுத்துக்கொண்ட பொருளின் பருமையைத் தனது பருமையாகக்கொண்ட திரவப் பகுதியின் எடையாகும். எனவே பொருளின் பருமை $v$ என்றும், திரவத்தின் செறிவு $d$ என்றும் கொண்டால், $w_1 - w_2 = vd$ ஆகும்.

$$\text{ஆகையால்} \quad v = \frac{w_1 - w_2}{d}$$

திரவத்தின் செறிவாகிய $d$ நமக்குத் தெரிந்திருந்தால் பொருளின் பருமையாகிய $v$-யைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

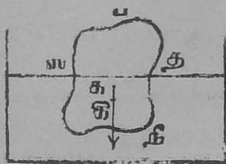
மெட்ரிக் திட்டத்திலே, ஒரு க. செ. மீட்டர் தண்ணீரின் நிறை 1 கிராம் ஆகும். ஆகையால் மேற்கண்ட வாய்பாட்டைத் தண்ணீருக்குக் கையாளும்போது $v = w_1 - w_2$ என்று சுருக்கிக்கொள்ளலாம்.

(2) ஒரு கம்பியின் குறுக்களவு காண:—கம்பியின் பொதுமை விட்டம் (Diameter) $d$ என்று கொண்டால் வெட்டுவாயின் பரப்பு $\frac{\pi d^2}{4}$ ஆகும். கம்பியின் நீளம் $l$ ஆனால், அதன் மொத்த பருமை $v = \frac{\pi d^2 l}{4}$ ஆகும். அல்லது $d^2 = \frac{4v}{\pi l}$. ஆகையால் $d = \sqrt{\frac{4v}{\pi l}}$ கம்பியை முதலில் காற்றிலும், பிறகு தண்ணீரிலும் நிறுத்து அந்நிறைகளின் வேற்றுமையாகிய எடைக்குறைவைக் கொண்டு, கம்பியின் பருமையாகிய $v$-ஐக் காணவும். கம்பியின் நீளமாகிய $l$-ஐ ஒரு அளவியால் அளந்துகொள்ளவும். மேலே கண்ட வாய்பாட்டைக்கொண்டு கம்பியின் குறுக்களவாகிய $d$-யைக் கணக்கிடவும். திருகு மானியைக் கொண்டு நாம் கண்ட அளவைச் சரிபார்க்கவும்.

(3) சிக்குப்பட்டுள்ள ஒரு கம்பிச் சுருளின் நீளத்தைக் காண :—கம்பிச் சுருளை முதலில் காற்றிலும் பிறகு தண்ணீரிலும் நிறுத்து, அவற்றின் வேற்றுமையிலிருந்து கம்பியின் பருமையைக் கணக்கிடவும். கம்பியின் குறுக்களவை ஒரு திருகு மானியால் அளந்து $l = \frac{4v}{\pi d^2}$ என்னும் வாய்பாட்டினுதவியால் கம்பியின் நீளத்தைக் கணக்கிடவும்,

மிதவை விதிகள் (Laws of floatation) :—ஒரு பொருள் திரவத்தின் மீது மிதக்கும்போதும், ஆர்கிமிடியின் விதி செல்லும் என்று முன்பு கண்டோம். மேலும் அவ்வாறு ஒரு பொருள் திரவத்தின் மீது மிதந்தால், அதனுல் வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் எடையும், அப்பொருளின் எடையும் சமமாகும் என்று அநுமானித்தோம்.

நிற்க ஸநிதப என்னும் பொருள் ஒரு திரவத்தின் மீது மிதப்பதாகக் கொள்வோம் (படம் 124). க என்பது பொருளின் கவர்ச்சி மையம் என்றும், கி என்பது மிதவை மையம் என்றும் கொள்வோம். இப்பொருளின் எடை க-விலிருந்து கீழ் நோக்கித் தொழிற்படும். திரவத்தின் அழுத்தம் கி என்னும் புள்ளியிலிருந்து மேனேக்கித் தொழிற்படும்.



படம் 124

இவற்றைத் தவிர வேறு சக்திகள் இப்பொருளின் மீது தொழிற்படவில்லை. இப்பொருள் சம நிலைமையில் இருக்கிறது. இவ்வாறு இருப்பதற்கு இரண்டு நிபந்தனைகள் பூர்த்தியாகவேண்டும். (1) பொருளின் எடையும் திரவத்தின் மேனேக்கும் அழுத்தமும் சமமாக இருக்க

வேண்டும். (2) க, கி என்னுமிரண்டு புள்ளிகளும் ஒரே நிமிர்வைக் கோட்டி லிருக்கவேண்டும்.

இந்த இரண்டுமே மிதவை விதிகள் எனப்படும். இவற்றை எடுத்துக்கூறும் முறை வருமாறு :—

ஒரு பொருள் தன்வயமாக ஒரு திரவத்தின் மீது மிதந்துகொண்டிருந்தால்

(1) அப்பொருளின் எடையும் அதனுல் வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் எடையும் சமமாகும்.

(2) அப்பொருளின் கவர்ச்சிமையமும் மிதவை மையமும் ஒரே நிமிர்வைக் கோட்டிலே நிற்கும்.

தன் வயமாக ஒரு திரவத்தின் மீது மிதக்குமோரு பொருளிலே நீரினுள் முழுகி இருக்கும் பகுதியின் பருமை காண :—V, D என்பன முறையே மிதக்கும் பொருளின் பருமையும் செறிவும் என்றும், $D_1$ என்பது அப்பொருள் மிதக்கும் திரவத்தின் செறிவு என்றும், $V_1$ என்பது அப்பொருளிலே நீரினுள் முழுகி இருக்கும் பகுதியின் பருமையென்றும் கொள்வோம். இப்பொருள் திரவத்தின் மீது மிதப்பதால், அதன் எடையும், அதனுல் வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் எடையும் சமமாகும். பொருளின் எடையோ VD ஆகும். வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் எடையோ $V_1D_1$ ஆகும். ஆகையால் $VD = V_1 D_1$. அல்லது $V_1 = \frac{VD}{D_1}$.

இத்திரவம் தண்ணீரானுல் $\frac{D}{D_1}$ என்பது பொருளின் ஒப்புமைச் செறிவு ஆகும். ஆனுல் $\frac{D}{D_1} = \frac{V_1}{V}$; எனவே ஒரு பொருள் நீரிலே மிதந்தால், நீரில் முழுகிய அப்பொருளினது பகுதியின் பருமைக்கும், அப்பொருளின் முழுப் பருமைக்கும் உள்ள தகவு, அப்பொருளின் ஒப்

புமைச் செறிவு ஆகுமென்று தெரிந்துகொள்ளுகிறோம். எனவே ஒரு பொருளினது பருமையையும், நீரிலே அப்பொருள் மிதக்கும்போது நீரிலே முழுகி இருக்கும் பருமையையும் நாம் அளக்கக் கூடுமானால், அவற்றைக் கொண்டு அப்பொருளின் ஒப்புமைச் செறிவை நாம் எளிதிலே கணக்கிடலாம். மேலும் ஒரே பொருளைப் பல திரவங்களிலே மிதக்கச் செய்து, அவ்வப்போதும் நீரிலே முழுகும் அதன் பகுதியினது பருமையை நாம் அளக்கக் கூடுமானால், அவற்றைக்கொண்டு நாம் அப் பல வேறு திரவங்களின் செறிவுகளை ஒப்பிடுதல் கூடும்.

மேற்கூறிய முடிவை யடிப்படையாகக்கொண்டே திரவமானிகள் (Hydrometers) என்னும் கருவிகள் செய்யப்பட்டுள்ளன. அவற்றை இயற்றும் வகையையும், கையாளும் முறையையும் இனி விவரிப்போம்.

திரவமானிகள் :—இவை பெரும்பாலும் திரவங்களின் ஒப்புமைச் செறிவுகளைக் காணுவதற்காகக் கையாளப்படுகின்றன. இத்திரவமானிகளில் இரண்டு வகை உண்டு. ஒரு வகை நிலையியல் (Constant immersion) திரவமானிகள் எனப்படும். இவை எப்போதும் திரவத்தினுள் ஒரே குறிப்பிட்ட எல்லைவரை முழுகச் செய்யப்படும். எனவே வெவ்வேறு திரவங்களில் கையாளும்போது இத்திரவமானியின் எடை அதற்குகந்தவாறு மாறவேண்டுமென்பது தெளிவு. உண்மையில் இவ்வெடை வேற்றுமைகளைக்கொண்டே பலவேறு திரவங்களின் செறிவுகள் ஒப்பிட்டுக் காணப்படுகின்றன. மற்றொரு வகை மாறியல் திரவமானிகள் (Variable immersion hydrometers) எனப்படும். ஆனால் இவற்றின் எடைமட்டும் மாறிலியாய் இருக்கும். இவை பல வேறு திரவங்களில் அவற்றிற்குகந்தவாறு பலவேறு அளவுகளில் அமிழ்ந்து நிற்கும். இவ்வாறு

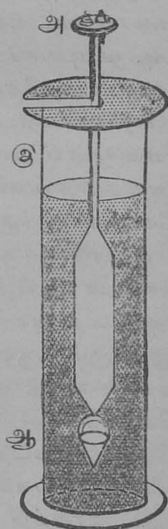
பலவேறு திரவங்களில் இத்திரவமானிகள் அமிழ்ந்து நிற்கும் அளவுகளைக்கொண்டே, அப்பல வேறு திரவங்களின் செறிவுகள் ஒப்பிடப்படும். ஒரு சோதனைக் குழாயைக்கொண்டு ஒரு திரவமானியை மிக எளிதிலே இயற்றிவிடலாம். இது சோதனைக்குழாய்மிதவை (Test tube float) எனப்படும்.

சோதனைக்குழாய் மிதவை:—சீரான வெட்டுவாயும், தட்டையான அடியையும் கொண்டதொரு சோதனைக்குழாயை எடுத்துக்கொள்ளவும். இது ஏறக்குறைய 2 செ. மீ. குறுக்களவையும், 15 செ. மீ. நீளத்தையும் கொண்டிருந்தால் சௌகரியமாய் இருக்கும். ஒரு நீண்ட சதுரங்கத்தாளின் பட்டையொன்றை எடுத்து, அதிலுள்ள பிரிவுகளுக்கு எண்ணிட்டு, அதைக் குழாயினுட் பக்கத்தில் பிரிவுகள் வெளியே தெரியும்படி ஒட்டிவைக்கவும். இதில் சூனியப்பிரிவு குழாயின் அடிப்பாகத்தோடு ஒட்டி நிற்கவேண்டும். ஒரு நீளமான கண்ணாடிச் சாடியில் தண்ணீரை நிரப்பி, சோதனைக்குழாயினுள் வேண்டிய அளவு ஈயரவைகளை இட்டு, அதைத் தண்ணீரிலே மிதக்கச் செய்யவும். இக்குழாய் நேர் செங்குத்தாக மிதக்கவேண்டும். அது சாடியைத் தொடாதிருக்கும்படிபார்த்துக்கொள்ளவும். ஏதேனும் காற்றுக் குமிழிகள் அதனோடு ஒட்டி இருந்தால் அவற்றை அகற்றிவிடவும். இப்போது நீரினுள் முழுகி இருக்கும் ஆழத்தைச் சதுரங்கத்தாளிலுள்ள பிரிவுகளால் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இது $h_1$ என்று கொள்வோம். திரவமானியை வெளியிலெடுத்து ஈரம் போகத் துடைத்துவிட்டு, அதிலுள்ள ரவைகளை மாற்றிவிடாமல் வைத்து, ஒப்புமைச் செறிவு காணவேண்டிய திரவத்தினுள் அதை இட்டு, இப்போது திரவத்தினுள் முழுகி நிற்கும் ஆழமாகிய $h_2$-ஐக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். திரவமானியின் எடை

மாறுமையால், இரண்டிடத்தும் வெளியே தள்ளப்பட்ட திரவங்களின் எடை சமமாகும். ஆனால் அவற்றின் பருமைகள் வேறாகும். இப்பருமைகள் திரவங்களின் செறிவுக்கு எதிர் விகிதமாக மாறுதலடையும். குழாயின் வெட்டுவாய் ஒரே அளவினதாகையால், வெளியேற்றப்பட்ட திரவங்களின் பருமைகள் முறையே $h_1$, $h_2$-க்களுக்கு ஏற்பநேரானவை.

$$\text{எனவே } \frac{d_2}{d_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{h_1}{h_2}$$

முதலில் இட்ட திரவம் தண்ணீராகையால் $\frac{d_2}{d_1}$ என்பது இரண்டாவது திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவு ஆகும். இக்கருவி ஒரு மாறியல் திரவமானி என்பதில் ஐயமில்லை.



படம் 125

**நிகல்ஸன் திரவமானி**:—(படம் 125). இதில் தகட்டினாலாகிய ஒரு உருளை இருக்கிறது. இதன் முனைகள் கூருருளை (Cone) வடிவானவை. ஒரு முனையின் நுனியில் ஒரு காம்பும் அதன் மீது அ என்ற ஒரு சிறு தட்டும் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. மற்றொரு முனையில் ஆ என்னும் தகட்டினாலாகியதொரு சிறு கூடை பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இக்கூடையில் ஈய எடைகள் இடப்பட்டிருக்கும். இதனால் இத்திரவமானி திரவத்திலே செங்குத்தாக மிதக்கும். இவ்வாறு மிதக்கும்போது மேலேயுள்ள கூருருளையின் ஒரு பகுதிவரை உள்ளே முழுகி நிற்கும். ஒரு சல்லடைத் தட்டினால் கீழேயுள்ள கூடையைவேண்டுமானால்

மூடிக்கொள்ளலாம். மேலேயுள்ள காம்பிலே ஒரு அடையாளக் குறி இடப்பட்டிருக்கும்.

நிகல்ஸன் திரவமானியால் ஒரு திரவத்தின் ஒப்புமைச் சேறிவைக்காண:—இதைத் தண்ணீரில் மிதக்க விடவும். மேலேயுள்ள தட்டிலே எடைகளை இட்டு, காம்பிலுள்ள இ என்னும் அடையாளம் வரை திரவமானி தண்ணீரினுள் முழுகும்படி செய்யவும். இதற்காகத் தட்டிலே இடப்பட்ட எடை $w_0$ என்று கொள்வோம். இப்போது இதே திரவமானியை ஒப்புமைச் செறிவு காணவேண்டிய திரவத்தினுள் இட்டு, மறுபடியும் அதே அடையாளம் வரை திரவமானி திரவத்தினுள் முழுகும்படிச் செய்வதற்கு வேண்டிய எடையைக் காணவும். இந்த எடை $w_1$ என்று கொள்வோம். திரவமானியை எடுத்து, ஈரம் புலரும்படி துடைத்துவிட்டுத் தராசிலிட்டு, அதன் எடையாகிய $w$-வைக் காணவும். இரண்டிடத்தும் வெளியேற்றப்பட்ட தண்ணீரின் பருமை சமமாகும். அவற்றின் எடைகள், திரவமானியின் எடையோடு அவ்வப்போது அதன் மீது வைக்கப்பட்ட எடைகளைக் கூட்ட வந்த தொகைகள் ஆகும். எனவே திரவத்தின் ஒப்புமைச் செறிவு

$$= \frac{\text{ஓரளவு திரவத்தின் எடை}}{\text{அதே பருமைகொண்ட தண்ணீரின் எடை}}$$

$$= \left[\frac{w+w_1}{w+w_0}\right]$$

நிகல்ஸன் திரவமானியால் ஒரு கட்டிப்பொருளின் ஒப்புமைச் சேறிவுகாண:—நிகல்ஸன் திரவமானியைத் தண்ணீரில் மிதக்கவிட்டு, அது இ என்னும் அடையாளம் வரை முழுகுவதற்குத் தட்டிலே வைக்கவேண்டிய $w$ என்னும் எடையைக் காணவும். எடைகளை எடுத்துவிட்டு, மறுபடியும் திரவமானியைத் தண்ணீ

ரிலே மிதக்கவிட்டு, நாம் ஒப்புமைச் செறிவு காண வேண்டிய பொருளைத் தட்டின் மேலே வைத்து, மறுபடியும் இ வரை அமிழ்வதற்குவேண்டிய $w_1$ என்னும் எடையைக் காணவும். இந்த இரண்டு எடைகளின் வேற்றுமையாகிய $(w - w_1)$ என்பது, பொருளின் எடையாகும். இப்போது எடைகளை எடுத்துவிட்டு கட்டிப் பொருளைக் கீழே உள்ள கூடையிலே வைத்து, திரவமானியை மிதக்கவிட்டு, மறுபடியும் அது இ வரை அமிழ்வதற்குவேண்டிய எடையாகிய $w_2$-வைக் காணவும். பின்னிரண்டு எடைகளின் வேற்றுமையாகிய $(w_2 - w_1)$ என்பது இப்பொருளுக்கு நீரிலே ஏற்படும் எடைக்குறைவு ஆகும். எனவே அப்பொருளின் ஒப்புமைச் செறிவு

$$= \frac{\text{அப்பொருளின் எடை}}{\text{நீரிலேற்படும் அதன் எடைக்குறைவு}} = \frac{w - w_1}{w_2 - w_1}$$

நாம் எடுத்துக்கொண்ட கட்டிப்பொருள் தண்ணீரிலே மிதக்கக்கூடியதானால் அதைக் கூடையோடு சேர்த்துக் கட்டிவிடவேண்டும்.

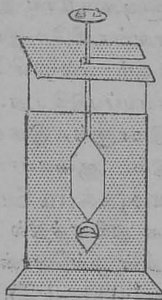
இந்தக் கருவியை உபயோகிக்கும்போது ஒரு அட்டையில் படத்தில் (படம் 126) கண்டது போன்று வெட்டியெடுத்துவிட்டு, அந்த அட்டையால் நீர் நிரம்பி இருக்கும் சாடியை மூடி, இத்தொளை வழியாகத் திரவமானியின் காம்பு வெளிவரும்படி செய்து வைத்தல் நலம். இதனால் மூன்று சௌகரியங்கள் ஏற்படுகின்றன.

(1) திரவமானி சாடியைத் தொடுவதில்லை.

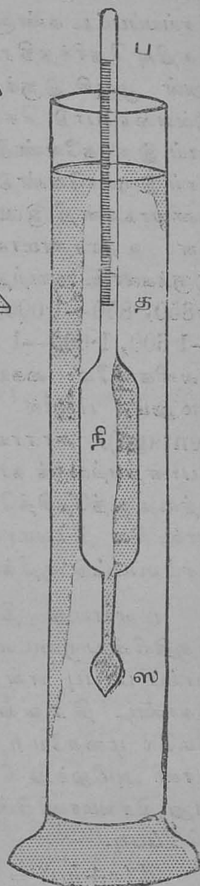
(2) தட்டில் எடை மிகுதியாக ஏற்பட்டபோது அது தண்ணீரில் முழுகிவிடாமல் தடுக்கப்படுகிறது.

(3) எடைகள் தட்டின் மீது விழும் வேகத்திலே திரவமானி கவிழ்ந்து விடாமல் காக்கப்படுகிறது.

மேலும் திரவமானியின் மீது காற்றுக் குமிழ்கள் ஒட்டிக் கொள்ளாத படி பார்த்துக் கொள்ளவேண்டும். இக்கருவியால் காணப்படும் முடிவுகள் அவ்வளவு திருத்தமாய் இருப்பதில்லை. இதற்குக் காரணம் திரவங்களிலேற்படும் பரப்பு-பிசு (surface-tension) முதலிய சக்திகளாகும். இக்கருவி ஒரு நிலையியல் திரவமானி என்பது வெளிப்படை.



படம் 126




படம் 127

சாமானிய திரவமானிகள் (common hydrometers) (படம் 127). இவை வியாபாரத் துறையிலே, சாராயம், பால், காடிகள் (acids), சர்க்கரை போன்ற பல கரை நீர்கள் ஆகியவற்றின் ஒப்புமைச் செறிவுகளைக் காண்பதற்காகக் கையாளப்படுகின்றன. இவை மாறியல் கருவிகளாகும். இவற்றிலே நி என்னும் பெரியதொரு கண்ணாடிக் குமிழியினடியில் பொருத்தப்பட்டுள்ள மற்றொரு சிறு குமிழினுள், ஈயரவைகள் பஞ்சிலே பொதியப்பட்டு வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. நி யின் மற்றொரு

முனையிலே தப என்னும் நீண்டதொரு வகைப்பாடு செய்யப்பட்ட கண்ணுடிக்குழாய் இருக்கும். இவற்றைச் செறிவு தெரிந்ததிரவங்களிலே இட்டு, அவை திரவத்தினுள் முழுகி இருக்கும் எல்லையிலே அடையாளமிட்டு, இவ்வகைப்பாடு செய்யப்படுகிறது. இக்கருவி கூர்மையாய் இருக்கவேண்டுமானால், இதன் காம்பு வெகு நீளமாய் இருக்கவேண்டும். ஆகையால் இத்திரவ மானிகள் தனியாகவன்றி இனமாகக் (in Sets) கையாளப்படுகின்றன. உதாரணமாக ஓரினத்தில் ஏழு திரவமானிகள் இருக்கலாம். அவற்றின் ஒவ்வொன்றும் முறையே 0·700 0·850, ·850—1·000, 1·000—1·200, 1·200–1·400, 1·400—1·600, 1·600—1·800, 1·800—2·000 என்னும் இடைவெளிகளிலே கையாளக்கூடியதாய் இருக்கலாம். மேலும், பாலில் நீர்க்கலப்புச் சதவீதமும் (per centage), சாராயத்தில் ஆல்கஹாலின் சதவீதமும் போன்றவற்றைக் காணவேண்டியதாகிய வேறொரு காரியத்தை உத்தேசித்தே ஒப்புமைச் செறிவு காணப்படுவதால், சில திரவமானிகளிலே சதவீதமே வகைப்பாடு செய்யப்பட்டு குறிக்கப்பட்டிருப்பதுமுண்டு.

$v$ என்பது திரவமானியிலே த-வுக்குக் கீழுள்ள பகுதியின் பருமை என்றும், $a$ என்பது காம்பின் வெட்டுவாய்ப் பரப்பு என்றும், $d$, $d_1$ என்னும் செறிவுகளைக் கொண்ட திரவங்களில் மிதக்கும்போது, த-வுக்கு மேலே முறையே $h$, $h_1$ என்னும் உயரம் வரைத் திரவமானி அமிழ்ந்து நிற்பதாகவும் கொள்வோம். $w$ என்பது திரவமானியின் எடை என்றுகொண்டால் மிதவை விதிப்படி

$$d\,(v+ha) = d_1\,(v+h_1\,a) = w$$

முதல் இணைவை எடுத்துக்கொண்டால்

$$d\,(v+ha) = w \text{ அல்லது } v+ha = \frac{w}{d}$$

அல்லது $ha = \frac{w}{d} - v$ அல்லது

$$h = \frac{w}{ad} - \frac{v}{a}$$

இப்படியே $h_1 = \frac{w}{ad_1} - \frac{v}{a}$ ஆகும்.

ஆகையால் $h_1 - h = \frac{w}{ad_1} - \frac{w}{ad}$

$d$ என்பது தண்ணீரின் செறிவு எனக்கொண்டு

$$h_1 - h = \frac{w}{a}\left(\frac{1}{d_1} - 1\right)$$

$h_2$ என்பது $d_2$ செறிவாகக்கொண்ட திரவத்திற்குரியதானல்,

$$h_2 - h = \frac{w}{a}\left(\frac{1}{d_2} - 1\right)$$

$$\therefore \frac{h_1 - h}{h_2 - h} = \frac{\frac{1}{d_1} - 1}{\frac{1}{d_2} - 1}$$

எனவே நாம் தண்ணீருக்குரிய உயரத்தையும், செறிவு தெரிந்த மற்றொரு திரவத்திற்குரிய உயரத்தையும் நேரே கண்டுகொண்டால், $d_2$ செறிவுகொண்ட மூன்ருவது திரவத்திற்குரிய $h_2$ என்னும் உயரத்தை நாம் கணக்கிட்டு அறிந்துவிடலாம். இவ்வாறே நாம் திரவ மானியின் காம்பை வகைப்படுத்தி விடலாம். மேலே கண்ட வாய்பாட்டிலிருந்து, ஒப்புமைச் செறிவிலேற்படும் சமமான வேற்றுமைகள், காம்பிலே சமமான தூரங்களால் குறிக்கப்படாது என்றும், செறிவு அதிகமாகும்போது பிரிவுகள் நெருங்கி வரும் என்றும் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

உதாரணம் 1. ஒரு பனிக்கட்டி கடல் நீரின்மீது மிதக்கிறது. பனிக்கட்டியின் ஒப்புமைச் செறிவு ·915. கடல் நீரின் ஒப்புச் செறிவு 1·025 பனிக்கட்டியின் பருமையிலே எப்பகுதி நீருக்கு வெளியே தெரியும்.

பனிக்கட்டியின் பருமை $v$ என்றும், நீருக்கு வெளியே தெரியும் பனிக்கட்டிப் பகுதியின் பருமை $v_1$ என்றும் கொள்வோம். நிற்க, மிதவை விதியின்படி, பனிக்கட்டியின் நிறையும், மிதக்கும்போது அதனுல் வெளியேற்றப்பட்ட கடல் நீரின் நிறையும் சமமாக வேண்டும்.

பனிக்கட்டியின் நிறை $= \cdot 915\, v$

வெளியேறிய கடல் நீரின் நிறை $= 1 \cdot 025\, (v - v_1)$

எனவே $\cdot 915\, v = 1 \cdot 025\, (v - v_1)$

அல்லது $\dfrac{v - v_1}{v} = \dfrac{\cdot 915}{1 \cdot 025}$

இச்சமீகரணத்தின் இருபுறங்களையும் ஒன்றிலிருந்து கழிக்க,

$$1 - \frac{v - v_1}{v} = 1 - \frac{\cdot 915}{1 \cdot 025}$$

அல்லது $\dfrac{v_1}{v} = \dfrac{\cdot 110}{1 \cdot 025}$

எனவே, பனிக்கட்டியிலே $\dfrac{110}{1025}$ பங்கு நீருக்கு வெளியே தெரியும்.

உதாரணம் 2. சீரான வெட்டுவாயையுடையதொரு குழாய் தண்ணீரிலே செங்குத்தாக மிதக்குமாறு அதனுள்ளே எடையிடப்பட்டிருக்கிறது. தண்ணீரிலே இது மிதக்கும்போது நீர்மட்டத்திற்கு மேலே 6 அங். நீளம் வெளியே தெரிகிறது. 1·2 ஒப்புச் செறிவு

கொண்ட திரவத்திலே மிதக்கும்போது 8 அங். நீளம் வெளியே தெரிகிறது. 1·1 ஒப்புச்செறிவு கொண்ட திரவத்திலே வெளியே தெரியும் குழாயின் நீளத்தையும் காண்க.

அந்தக் குழாயின் நீளம் $l$ அங். என்று கொள்வோம்.

திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவு 1·2

$$= \frac{\text{தண்ணீரில் முழுகிய நீளம்.}}{\text{திரவத்தில் முழுகிய நீளம்}} \quad \frac{l-6}{l-8}$$

ஆகையால் $\dfrac{l-6}{l-8} = 1{\cdot}2$

அல்லது $l = 18$ அங்.

1·1 ஒப்புச் செறிவுகொண்ட திரவத்தில் மிதக்கும்போது அது $x$ அங். வெளியே தெரிவதாகக்கொள்வோம்.

$$1{\cdot}1 = \frac{18-x}{18-8}$$

அல்லது $x = 7$ அங்குலம்.

எனவே 1·1 ஒப்புச் செறிவுகொண்ட திரவத்திலே மிதக்கும்போது குழாயிலே 7 அங். நீளம் வெளியே தெரியும்.

உதாரணம் 3. ஒரு நிலவியலறிஞர் (Geologist) ஒரு படிகக் கல்லைக் கண்டெடுத்து, அதன் ஒப்புமைச் செறிவைக் காண முயன்றார். தண்ணீர் இன்மையால் அவர் பெட்ரோலை உபயோகித்தார். கீழ்க் கண்ட வாசகங்களைக் கொண்டு அந்தப் படிகத்தின் ஒப்புச் செறிவைக் காண்க.

(சென்னை 1926)

(1) காற்றிலே படிகத்தின் எடை = 26·9 கிராம்

(2) பெட்ரோலிலே அதன் எடை = 19·3 கிராம்

(3) பெட்ரோலின் ஒப்புச் செறிவு = 0·73

## கணக்கீடு

பெட்ரோலிலே படிகம் இழந்த எடை

$$= 26{\cdot}9 - 19{\cdot}3 = 7{\cdot}6 \text{ கி.}$$

பெட்ரோலோடு ஒப்பிட்ட படிகத்தின் செறிவு

$$= \frac{\text{அதன் எடை}}{\text{பெட்ரோலில் இழந்த எடை}}$$

$$= \frac{26{\cdot}9}{7{\cdot}6} = 3{\cdot}54$$

$$\text{படிகத்தின் ஒப்புச் செறிவு} = \frac{\text{படிகத்தின் செறிவு}}{\text{நீரின் செறிவு}}$$

$$= \frac{\text{படிகத்தின் செறிவு}}{\text{பெட்ரோலின் செறிவு}} \times \frac{\text{பெட்ரோலின் செறிவு}}{\text{நீரின் செறிவு}}$$

$$\text{ஆனால் } \frac{\text{படிகத்தின் செறிவு}}{\text{பெட்ரோலின் செறிவு}} = 3{\cdot}54 \left[\text{நாம் கண்டது}\right]$$

$$\text{மற்றும் } \frac{\text{பெட்ரோலின் செறிவு}}{\text{நீரின் செறிவு}} = 0{\cdot}73 \left[\text{கணக்கில் கண்டது}\right]$$

எனவே படிகத்தின் ஒப்புச் செறிவு

$$= 3{\cdot}54 \times 0{\cdot}73 = \mathbf{2{\cdot}58}$$

உதாரணம் 4. கீழே கண்ட வாசகங்களைக் கொண்டு கட்டை, பித்தளை ஆகிய இரண்டின் ஒப்புச் செறிவுகளைக் காண்க.

(1) பித்தளைத் துண்டின் எடை காற்றிலே } 22·68 கிராம்.

(2) மரக்கட்டைத் துண்டின் எடை காற்றிலே } 1·595 கிராம்.

(3) பித்தளைத் துண்டின் எடை தண்ணீரிலே } 20·020 கிராம்.

(4) கட்டை பித்தளைத் துண்டுகளின் கூட்டு நிறை—தண்ணீரிலே } 14·275 கிராம்.

(சென்னை 1921 மார்ச்)

கணக்கீடு

பித்தளைத் துண்டு தண்ணீரிலே இழந்த எடை
= 22·680 — 20·020 = 2·660 கிராம்.

பித்தளையின் ஒப்புச் செறிவு

$$= \frac{\text{அதன் எடை}}{\text{அது தண்ணிரில் இழந்த எடை}}$$

$$= \frac{22·680}{2·660} = \mathbf{8·53}$$

பித்தளைத் துண்டு தண்ணீரிலும், மரக்கட்டை காற்றிலும் இருக்கும் போதேற்படக் கூடிய கூட்டு எடை 20·020 + 1·595 = 21·615 கிராம்.

இரண்டும் தண்ணீரிலிருக்கும்போதேற்படும் கூட்டு எடை = 14·275 கிராம்...

கட்டைத் துண்டு தண்ணீரில் இழந்த எடை
= 21·615 — 14·275 = 7·340 கிராம்.

கட்டையின் ஒப்புச் செறிவு

$$= \frac{\text{கட்டையின் எடை}}{\text{அது தண்ணீரில் இழந்த எடை}}$$

$$= \frac{1·595}{7·340} = \mathbf{0·218}$$

உதாரணம் 5. ஒரு உலோகத்துண்டின் எடை காற்றிலே 13·884 கிராம். தண்ணீரிலே 123·24 கிராம்.

மற்றொரு திரவத்திலே 125·68 கிராம். உலோகத்தின் ஒப்புச் செறிவையும் திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவையும் காண்க.

உலோகத் துண்டு தண்ணீரிலே இழந்த எடை

$= 138·84 - 123·24 = 15·60$ கிராம்.

உலோகத்தின் ஒப்புச் செறிவு

$$= \frac{\text{அத் துண்டின் எடை}}{\text{அது தண்ணீரில் இழந்த எடை}} = \frac{138·84}{15·60} = \mathbf{8·90}$$

உலோகத் துண்டு திரவத்தில் இழந்த எடை

$= 138·84 - 125·68 = 13·16$ கிராம்.

திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு

$$= \frac{\text{உலோகத் துண்டு திரவத்தில் இழந்த எடை}}{\text{அது தண்ணீரில் இழந்த எடை}}.$$

$$= \frac{13·16}{15·60} = \mathbf{0·84}$$

உதாரணம் 6. ஒரு நிகல்ஸன் திரவமானியை அதன் அடையாளக் குறிவரையிலே தண்ணீரில் முழுக்குவதற்கு 30 கிராம் எடை சேர்க்கவேண்டியிருக்கிறது. அதே திரவமானியை அதே அளவுக்கு 1·07 ஒப்புச்செறிவு கொண்டதொரு திரவத்திலே முழுக்குவதற்கு, 35·75 கிராம் எடை சேர்க்கவேண்டியிருந்தது. அத்திரவமானியின் எடையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை 1928 செப்.)

திரவமானியின் எடை $m$ என்று கொள்வோம்.

அது வெளியேற்றிய தண்ணீரின் எடை

$= \mathbf{m+30}$ கிராம்.

அது வெளியேற்றிய திரவத்தின் எடை

$= m+35·75$ கிராம்.

திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு

$$= \frac{\text{வெளியேறிய திரவத்தின் எடை}}{\text{வெளியேறிய தண்ணீரின் எடை}} = 1 \cdot 07$$

எனவே $\frac{m+35\cdot75}{m+30} = 1\cdot07$

அல்லது $m = \frac{3\cdot65}{\cdot07} = 52\cdot1$ கிராம்.

நிகல்ஸன் திரவமானியின் எடை = **52·1** கிராம்.

உதாரணம் 7. ஒரு சாமானிய திரவமானி தண்ணீரிலே மிதக்கும்போது, அதன் காம்பிலே 2 செ. மீ. நீளம் வெளியே தெரிகிறது. 1·2 ஒப்புச் செறிவு கொண்ட திரவத்திலே அது மிதக்கும்போது, 2·2 செ. மீ. நீளத்திற்குக் காம்பு வெளியே தெரிகிறது. 1·1 ஒப்புச் செறிவு கொண்ட திரவத்திலே மிதக்கும்போது, காம்பிலே எவ்வளவு நீளம் வெளியே தெரியும்.

திரவமானியின் பருமை முழுவதும் $v$ க. செ. மீ. என்று கொள்வோம். தண்ணீரில் வெளியே தெரியும் நீளம் 2 செ. மீ. குழாயின் குறுக்கின் பரப்பு $\alpha$ என்று கொண்டால் முழுகியிருக்கும் பாகம் $(v-2\alpha)$ க. செ. இதைத் தண்ணீரின் செறிவால் பெருக்க திரவமானியின் எடை கிடைக்கும்.

ஆகையால் $(v-2\alpha) \times 1$ என்பது திரவமானியின் எடை. 1·2 ஒப்புமைச் செறிவு கொண்ட திரவத்தில் மிதக்கும்போது:

$(v-2\cdot2\,\alpha)$ 1·2 என்பது திரவமானியின் இதே எடை ஆகும். ஆகையால்

$(v-2\,\alpha) \times 1 = (v-2\cdot2\,\alpha)\,1\cdot2$

$v-2_{\alpha} = 1\cdot2\,v - 2\cdot2 \times 1\cdot2_{\alpha}$

$\cdot 2\, v = \cdot 64\, \alpha$

ஆகையால் $v = 3\cdot 2\, \alpha$

1·1 ஒப்புச் செறிவு கொண்ட திரவத்தில் மிதக்கும் போது $x$ என்ற நீளம் வெளியே தெரிவதாகக் கொண்டால்

$(v - x\,\alpha)\, 1\cdot 1 = (v - 2\alpha)$

அதாவது $(3\cdot 2\,\alpha - x\,\alpha)\, 1\cdot 1 = (3\cdot 2\,\alpha - 2\,\alpha)$

$3\cdot 2 \times 1\cdot 1 - 1\cdot 1\, x = 3\cdot 2 - 2 = 1\cdot 2$

$1\cdot 1\, x = 2\cdot 32$

$x =$ **2·11** செ. மீ.

## வினாக்கள்

1. ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தை எடுத்துக் கூறுக. தண்ணீரைவிட லேசானதொரு பொருளின் ஒப்புச் செறிவை எவ்வாறு பரிசோதனையால் காணலாமென்று விளக்கிக் கூறுக.

[சென்னை 1927 செப்.]

2. ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தை விளக்கிக் கூறி அதை எவ்வாறு பரிசோதிக்கலாம் என்று விவரிக்கவும்.

ஆகாயக் கப்பல்களின் அமைப்பிலே இது எவ்வாறு பிரயோகிக்கப்படுகிறது.

(அண்ணுமலை 1932)

3. திரவமானியின் தத்துவத்தை விவரிக்கவும். ஒரு கட்டைத் துண்டின் செறிவு ·7 கிராம்|க. செ. மீ. அதனோடு 33 கிராம் எடைகொண்ட ஈயத்தைச் சேர்த்தால், அது தண்ணீரினுள்ளே முற்றும் முழுகி நிற்கிறது. அதன் பருமையைக் கணக்கிடவும். ஈயத்தின் செறிவு 11 கிராம்|க. செ. மீ.

[காசி 1930]

4. ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தை எடுத்துக்கூறி அதைச் சரிபார்க்கும் முறையை விவரிக்கவும்.

நீர் நிறைந்த ஒரு குவளை தராசின் இடது தட்டிலே வைத்து எடை கட்டப்பட்டிருக்கிறது. 25 க. செ. மீ. பருமையும், 200 கிராம் எடையும்கொண்டதொரு பொருள் தண்ணீரினுள்ளே முழுக்கப்படுகிறது. இதைத் தாங்கும் சரடு (*a*) தட்டைத் தாங்கும் கொக்கியிலே இணைக்கப்பட்ட போதும், (*b*) புறம்பானதொரு தாங்குகாலிலே இணைக்கப்பட்டபோதும், வலது தட்டிலே சேர்க்கவேண்டிய எடை எவ்வளவு ஆகும் ?

(சென்னை 1927 மார்ச்சு)

5. ஒரு மீட்டர் அளவியையும், ஒரு தராசையும், நிறுப்பதற்கான மற்ற சாதனங்களையும் கொண்டு, ஒரு மெல்லிய கம்பியின் விட்டத்தை எவ்வாறு காணலாம் என்று விவரமாக எடுத்துக் கூறவும்.

[ஆக்ஸ். 1925]

6. 'செறிவு', 'ஒப்புச் செறிவு' என்னும் பதங்களுக்கு வரை விலக்கணம் கூறுக.

சர்க்கரையை அழுத்தி இறுகச் செய்ததொரு செங்கட்டி கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தைப் பிரயோகித்து இக்கட்டியின் செறிவை எவ்வாறு காணலாமென்று விளக்குக.

[அண்ணுமலை செப். 1935]

7. 21·8 ஒப்புச் செறிவு கொண்டதொரு பிளாடினம் துண்டு, ஒரு சரட்டிலே கட்டித் தண்ணீருக்குள் முழுகி நிற்கும்படித் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இதனுல் வெளியேறிய தண்ணீரின் நிறை 4·6 கிராம். சரட்டின் பிகுவைக் கணக்கிடுக.

8. ஒரு ஈயக் கட்டி 4·4 கிராம் அரக்கோடு சேர்க்கப்பட்டது. இச்சேர்க்கையின் எடை தண்ணீரிலே 23·88 கிராம். ஈயக்கட்டியின் எடைமட்டும் தண்ணீரிலே 24·48 கிராம். அரக்கின் செறிவு காண்க.

9. ஒரு பொருளின் எடை காற்றிலே 42·24 கிராம். தண்ணீரினுள்ளே 29·44 கிராம். 0·8 ஒப்புச் செறிவு கொண்ட திரவத்திலே அதே பொருளின் எடையாதாகும்?

10. 1·25 ஒப்புச் செறிவு கொண்ட உப்புக்கரை நீரைக் கொண்டுள்ளதொரு கலத்தை, தராசின் ஒரு தட்டிலே வைத்து, எடை கட்டப்பட்டது. 260 கிராம் எடையுள்ளதொரு கல்லை, ஒரு மெல்லிய சரட்டினுல்

கட்டி, அதை இக்கரை நீரினுள் முற்றிலும் முழுகி இருக்குமாறு பிடிக்கவே, 100 கிராம் அதிகமாக எடை கட்டவேண்டியிருந்தது. இதன் காரணம் என்ன? கல்லின் ஒப்புச் செறிவு யாது?

11. ஒரு பொருள் தண்ணீரிலே கரையக் கூடியது. ஆனால் சாராயத்தில் கரையாது. அப்பொருளின் எடை காற்றிலே 34·6 கிராம்; சாராயத்திலே 21 கிராம். சாராயத்தின் ஒப்புச் செறிவு 0·85 என்று கொண்டு மேற்கூறிய பொருளின் பருமையையும் செறிவையும் காண்க.

12. எல்லாப் பொருள்களும் பூமியின் மையத்தை நோக்கிக் கவர்ந்திழுக்கப்படுகின்றனவாயினும் (a) தண்ணீரினடியில் விடுபட்ட அடைப்பானும் (b) சூடான காற்று, புகைபோக்கியிலும் (c) வாணம் ஆகாயத்திலும் மேலெழுவதற்குரிய காரணங்கள் யாவை?

(ஆக்ஸ். 1931)

13. நிகல்ஸன் திரவமானியினுதவியால் (1) ஒரு சிறு அடைப்பான் துண்டு (2) ஒரு கண்ணாடித் துண்டு (3) மண்ணெண்ணெய் ஆகிய இவை ஒவ்வொன்றின் ஒப்புச் செறிவைக் காண்பதற்குரிய பிரயோக முறைகளைக் கூறுக.

(சென்னை 1920 மார்ச்.)

14. மிதக்கும் பொருள்கள் விஷயத்திலே ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தை எவ்வாறு பிரயோகிப்பது? இந்த தத்துவத்தைக்கொண்டு நிகல்ஸன் திரவமானியினால் எவ்வாறு (a) ஒரு திரவத்தின் செறிவையும் (b) ஒரு திடப்பொருளின் செறிவையும் நிர்ணயிக்கலாமென்று காட்டுக.

ஒரு மிதப்புக் குழாயிலே 80 ரவைகளை யிட்டால் அது 4 அங். முழுகுகிறது. 170 ரவைகளை இட்டால்

அது 6 அங். முழுகுகிறது. மண்ணெண்ணெயிலே 6 அங். முழுக வேண்டுமானால், 116 ரவைகளை யிடவேண்டியிருக்கிறது. மண்ணெண்ணெயின் செறிவைக் கணக்கிடுக

(அண்ணமலை 1933)

15. நிகல்ஸன் திரவமானியின் படமொன்று வரைக. அதைக்கொண்டு (a) ஒரு திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு (b) ஒரு அடைப்பான் துண்டின் ஒப்புச் செறிவு ஆகியவற்றை எவ்வாறு காணலாமென்று விளக்குக. இரண்டாவது வகைக்கு உதாரணமாக ஒரு வாசகத் தொகுதியைக் கொண்டு எவ்வாறு கணக்கீடு செய்வதென்று காட்டுக.

(சென்னை 1923 செப்.)

16. (a) தண்ணீரைவிட லேசானதொரு பொருளின் ஒப்புச் செறிவைக் காண்பதற்கும் (b) இரண்டு திரவங்களின் செறிவுகளை ஒப்பிடுவதற்கும் ஒரு நிகல்ஸன் திரவமானியை எவ்வாறு உபயோகிக்க வேண்டுமென்று விபரமாய்க் கூறவும்.

(சென்னை 1926 மார்ச்.)

17. ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தை எடுத்துக் கூறுக.

தண்ணீரினுள்ள அழுத்திப் பிடிக்கப்பட்டதொரு அடைப்பான் துண்டு விடுபட்டவுடனே ஏன் நீர் மட்டத்திற்கு எழுகிறது என்று விளக்குக.

10 லக்ஷம் லிட்டர்கள் பருமையும், $1{\cdot}5 \times 10^5$ கிராம் எடையும் கொண்டதொரு ஆகாயக் கப்பல் நீரகத்தினல் நிரப்பப்பட்டால் எவ்வளவு எடையைத் தூக்கக் கூடும்?

[ ஒரு லிட்டர் நீரகத்தின் நிறை 0·09 கிராம்
,, காற்றின் நிறை 1·3 கிராம் ]

(ஆக்ஸ். 1930)

18. ஆர்கிமிடியின் தத்துவமும், வாயுக்களை விஷயத்திலும் செல்லுமென்பதைக் காட்டுவதற்கானதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

ஒரு மிதக்கும் பொருளின் சமநிலைமைக்குரிய நிபந்தனைகளைக் கண்டுரைக்கவும்.

ஒரு பொருளின் $\frac{2}{3}$ பகுதி தண்ணீரில் முழுகி இருக்குமாறு அது மிதக்கிறது. அதன் ஒப்புச் செறிவு யாது?

(பாட்ஞ 1933)

19. ஒரு நிகல்ஸன் திரவமானி தண்ணீரிலே தனது அடையாளக் குறிவரை முழுகி மிதக்கிறது. இதன் மீது ஒரு பொருளை வைத்துவிடவே, திரவமானியை முன் போலவே மிதக்கச் செய்வதற்காக 7·92 கிராம் எடையை அதன் தட்டிலிருந்து நீக்க வேண்டியிருந்தது. அதே பொருளைக் கீழ்த் தட்டிலே வைத்த போது, 5·52 கிராம் எடையை நீக்கவேண்டியிருந்தது. இப்பொருளின் செறிவு காண்க.

20. ஒரு மிதக்கும் பொருளின் சம நிலைமைக் குரிய நிபந்தனைகளைக் எடுத்துக் கூறி விளக்குக.

ஒரு சாமானிய திரவமானியிலே தலைக்கோடும் கடைக்கோடும் முறையே 1·44, 1·80 என்னும் செறிவுகளைக் குறிக்கின்றன. இவை யிரண்டுக்கும் நடு மையத்திலிருக்கும் கோடு குறிக்கும் செறிவு யாதாகும்?

(ஆந்திரா மார்ச். 1934)

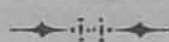
21. 'ஒப்புமைச் செறிவு', 'கவர்ச்சி உரிமை' என்பதின் வரை விலக்கணம் கூறுக.

சாமானிய திரவமானியின் தத்துவத்தை விளக்குக. ஒரு சாமானிய திரவமானியின் காம்பு உருளை வடிவானது. இக்கருவியின் வீச்சு 1·000-க்கும் 1·2000-க்கும் இடைப்பட்டது. இக்கருவி தனது காம்பிலே மூன்றிலிரண்டு பங்கு முழுகி நிற்குமாறு மிதக்கக்கூடியதொரு திரவத்தின் கவர்ச்சி உரிமையைக் காண்க.

(சென்னை 1925 மார்ச்)

---

# அத்தியாயம் 14



## பவனத்தின் இறுக்கம்—பாயிலின் விதி
## (Atmospheric Pressure) (Boyle's Law)

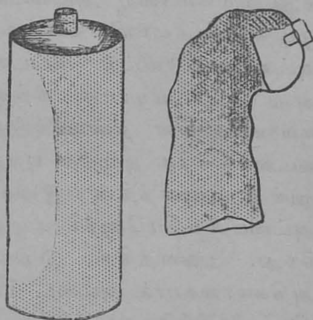
பவன இறுக்கம் :—திரவம் போன்ற கனமான ஓடிகளிலே ஒரு புள்ளியின் இறுக்கம் திரவ மட்டத்தின் அடியில் அப்புள்ளி யிருக்கும் ஆழத்தைச் சார்ந்தது. மேலும் அது $hgd$ என்று கண்டோம். இதில் $d$ என்பது திரவத்தின் செறிவு. ஒரே நிமிர்வைக் கோட்டிலே $h_1$ என்னும் ஆழத்திலிருக்கும் ஒரு புள்ளியையும், இதை விட ஆழமாகிய $h_2$ என்னும் ஆழத்திலிருக்கும் மற்றொரு புள்ளியையும் நாம் எடுத்துக்கொண்டால், அவற்றின் இறுக்க வேற்றுமை $(h_2—h_1)gd$ ஆகும். இதில் $d$-யின் மதிப்புப் பெரிதாய் இருப்பதால் $(h_2—h_1)$ என்பது சிறியதாயினும் இந்த இறுக்க வேற்றுமையும் பெரிதாகவே இருக்கும். ஆனால் வாயுக்களின் செறிவுகளோ மிகச் சிறிய அளவினதாகும். ஆகையால் ஒரு சிறிய எல்லைக்குட்பட்ட வாயுவிலே ஏதேனு மிரண்டு புள்ளிகளிடையே ஏற்படும் $(h_2—h_1)gd$ என்னும் இறுக்க வேற்றுமை, அந்த இறுக்கங்களின் அளவை நோக்க மிக அற்பமானது ஆகும். எனவே ஒரு சிறு எல்லைக்குட்பட்ட வாயுவிலேயுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும், இறுக்கம் வேறு படாது ஒரே அளவினதாய் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். பூமியைச் சுற்றிலும் பல மைல்கள் வரை ஒரு காற்று மண்டலம் வியாபித்திருக்கிறது. இக் காற்று மண்டலமே பவனம் எனப்படும். பூமியின் மேற் பரப்பிலே ஒரு அலகு கொண்ட பரப்பை எடுத்துக்கொண்டு, அதன் மீது நிமிர்வையாக நிற்கும் காற்று நிரையை எடுத்துக்கொண்

டால், அந்நிரையின் எடை முழுவதும் அப்பரப்பின் மீதே தாக்கும். எனவே இப்பரப்பினிடையே இருக்கும் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் உள்ள இறுக்கம் அக்காற்று நிரையின் எடையேயாகும். இது சதுர அங்குலத்திற்கு ஏறக்குறைய 15 பவுண்டு எடை அல்லது சதுர செண்டி மீட்டருக்கு $10^6$ டைன்கள் ஆகிறது. இந்த இறுக்கம் இடந்தோறும் வேறுபடுகிறது. ஓரிடத்திலேயும் இது காலப் போக்கிலே மாறுபடுகிறது. ஒரு சிறு எல்லைக்குட்பட்ட காற்றிலே இறுக்கத்தின் அளவு இடத்துக்கிடம் வேறுபடா விட்டாலும், பவனம் போன்ற பெரிய காற்று மண்டலத்திலே அதன் இறுக்கம், வெவ்வேறு மட்டங்களில் வேறுபட்டே தீரும். உயரச் செல்லச் செல்ல இறுக்கம் குறைவுபடுகிறது. ஒப்பிட்டுக் கூறுவதற்காகவும், கட்டளைப் படுத்துவதற்காகவும், கடல் மட்டத்திலேயுள்ள பவன இறுக்கத்தை எடுத்துக்கொள்வது வழக்கம். தன்னுள் முழுகி இருக்கும் பொருள்களை மேனோக்கித் தள்ளுவதிலும், எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே அளவினதாய் இருப்பதிலும், பவன இறுக்கம் திரவ இறுக்கத்தைப் போன்றதே யாயினும், இவற்றுள் முக்கியமான தொரு வேற்றுமையைக் கவனிக்கவேண்டும். திரவத்திலே இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட இறுக்க வேற்றுமை அவற்றின் மட்ட வேற்றுமைக்கு ஏற்ப உள்ளதென்று நாம் கண்டோம். ஆனால் காற்றைப்பற்றின வரையில் இவ்விதி செல்லாது. ஏனெனில் திரவத்தின் செறிவு அதன் இறுக்கத்தைச் சார்ந்து மாறுவதில்லை. ஆனால் வாயு சுருங்கும் இயல்புடமையால், அதன் செறிவு பல்வேறிடங்களிலே, அங்கங்கேயுள்ள அதன் இறுக்கத்தோடு மாறுதலடையும். ஆனால் மட்ட வேற்றுமை மிகச் சிறியதாய் இருக்கும்போது, அம் மட்ட வேற்றுமையோடு பொதுமைச் செறிவைப் பெருக்குவதால், இறுக்க வேற்றுமையைப் பெறலாம்.

பவன இறுக்கத்தைக் காட்ட சில பரிசோதனைகள் :—(1) ஒரு ரப்பர் பையின் வாயை இறுகக் கட்டிவிட்டு, அதை ஒரு காற்று-இறைவியினது கூண்டினுள் வைத்து, அக்கூண்டினுள்ள காற்றை வெளிப்படுத்தவும். பையானது வரவரப் பெருத்துக் கடைசியில் வெடித்துவிடும்.

மேலும், ஒரு கண்ணாடிக் குழாயின் ஒரு முனையை, ஒரு ரப்பர் துணித் துண்டினாலே மூடி இறுகக் கட்டிவிட்டு, மற்றொரு முனையின் வழியாக அக்குழாயினுள்ள காற்றை ஒரு இறைவியால் வெளியேற்றிவிடவும். ரப்பர்த் துண்டு குழாயினுள் தள்ளப்பட்டுக் கடைசியிலே வெடித்துவிடும்.

(2) (படம் 128). ஒரு காலன் தகரப்புட்டியிலே நீரை நிரப்பி அதை நன்றாகக் காய்ச்சிக் கொதிக்கச் செய்யவும். புட்டியினுள்ள காற்றெல்லாம் முற்றிலும் வெளியேற்றப்பட்ட பிறகு புட்டியின் வாயை இறுக மூடிவிடவும். அது குளிர்ந்தவுடனே நசுங்கி விடும். இது புறத்தினின்று அதன்மீது தாக்கிய பவன இறுக்கத்தால் ஏற்பட்டதாகும். முதலிலே புட்டியின் அகத்தும் புறத்தும் இறுக்கம் ஒரே அளவினதாய் இருந்தது. ஆனால் காய்ச்சப்பட்டபோது உள்ளிருந்த காற்றெல்லாம் நீராவியால் வெளியேற்றப்பட்டது. குளிர்ந்தவுடனே உள்ளிருந்த நீராவி இறுகித் தண்ணீராகிவிடவே, புட்டியின் அகத்திலே இறுக்கம்

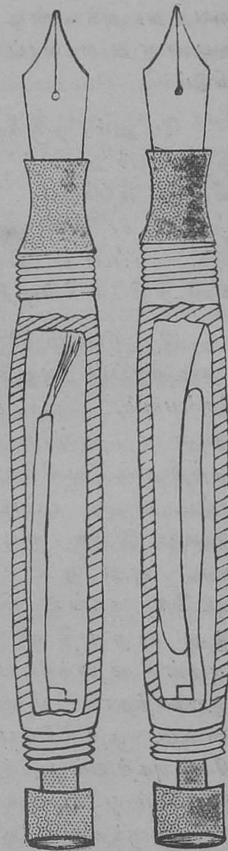


படம் **128**

குறைந்து விட்டது. புட்டியின் புறத்திலே பவன இறுக்கம் முன் போலவே குறையாது தாக்கவே அதைத் தாங்காது புட்டி நசுங்கிவிட்டது.

(3) ஒரு கண்ணாடிக் குவளையைத் தலைகீழாகத் தண்ணீரில் அமிழ்த்தினால், நீர்மட்டம் வெளியிலிருப்பதைவிடக் குவளையினுள்ளே தாழ்ந்திருப்பதைக் காணலாம். குவளையினுள் அகப்பட்டிருக்கும் காற்றினது இறுக்கமே இம்மட்ட வேற்றுமைக்குக் காரணமாகும்.

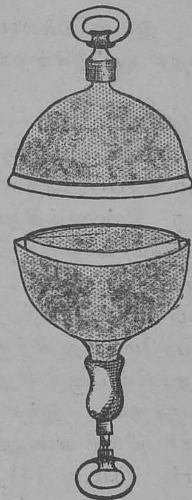
ஒரு குவளையிலே தண்ணீரை முற்றிலும் நிரப்பி, அதன் மீது ஒரு மெல்லிய அட்டையை மூடித் தலைகீழாகக் கவிழ்த்து, அட்டையை விட்டு விட்டால், அது கீழே விழாமல் நிற்கும். குவளையிலுள்ள தண்ணீர் அட்டையைக் கீழே அழுத்த, புறத்திலுள்ள பவனத்தின் இறுக்கம் அட்டையை மேனோக்கி அழுத்துகிறது. பவனத்தின் இறுக்கம் அதிகமாகையால் அட்டை கீழே விழாமல் நிற்கிறது.



படம் 129

மையுறிஞ்சும் பேனாக்கள் (Self-filling pens) :—ஊற்றுப் பேனாக்களிலே (Fountain pens) தானே மையுறிஞ்சும் வகையொன்றுண்டு. இது தாமாக மையை யுறிஞ்சுவ

தில்லையென்றும் பவன இறுக்கமே மையைப் பேனுவுக்குள் ஊட்டுகிறதென்றும் அறியலாம். 'ஸ்வான்' என்னும் கம்பெனியார் செய்யும் பேனுக்களிலே மையுறிஞ்சக்கூடிய ஒரு வகை படத்திலே காட்டப்பட்டுள்ளது. (படம் 129). இப்பேனுவின் அடியிலுள்ள தலையைப் பாதி திருகுவதனுல் அதனேடு இணைக்கப்பட்டுள்ளதொரு சட்டம், முதல் படத்தில் கண்டவாறு பேனுவினுள்ளிருக்கும் ரப்பர் பையை நசுக்கிச் சுருக்கிவிடுகிறது. அதிலுள்ள காற்றெல்லாம் முள்ளின் வழியாக வெளியேறிவிடுகிறது. இப்போது பேனுவின் முள்ளை, கூட்டிலுள்ள மையினுள்ளே அழுத்தித் தலையை மறுபடியும் பாதி திருகினுல், சட்டத்தின் நெருக்கத்திலிருந்து விடுபட்ட ரப்பர் பை பூரிக்கும். இவ்வாறு பூரிப்பதால் அதனுள்ளே காற்றினிறுக்கம் குறைவுபட, பவன இறுக்கம் மையை ரப்பர் பையினுள்ளே ஏற்றிவிடும். இதுவே இவ்வுறிஞ்சு பேனுக்கள் மையை உறிஞ்சிக்கொள்வதற்குரிய காரணமாகும்.



படம் 130

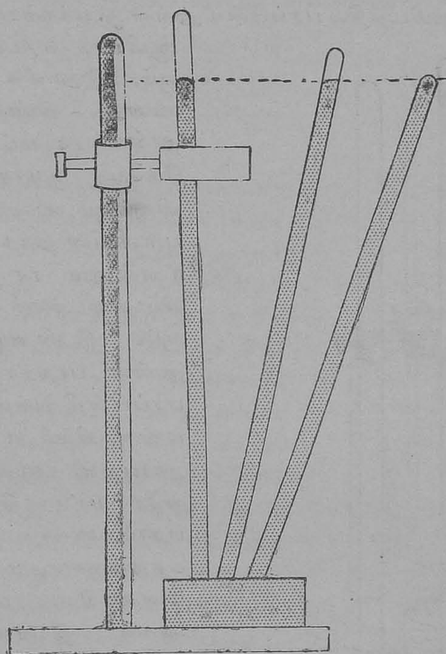
மாக்டிபர்க் கிண்ணங்கள் :— இவை ஒன்ருேடொன்று காற்றிறுக்கமாக மூடக்கூடிய இரண்டு கிண்ணங்களாகும். (படம் 130). சாமானியமாய் அவற்றை மூடிவிட்டுப் பிறகு எளிதாகத் திறந்துவிடலாம். ஆனுல் அவற்றை மூடி, ஒரு கிண்ணத்திலுள்ளதொரு துவாரத்தின் வழியாகக் காற்றை வெளிப்படுத்தி, அத்துவாரத்தை மூடி நிற்கும் திருகினுல்

இறுக்கமாக அதை மூடிவிட்டு, பிறகு கிண்ணங்களைப் பிரித்துத் திறக்க முயன்றால் அது மிகக் கடினமாக இருக்கும். இதுவும் புறத்திலேயுள்ள பவனத்தின் இறுக்கத்தினாலேற்பட்டதே யாகும். இக் கிண்ணங்களை எத்திசையிலே திருப்பிப் பிடித்து இழுத்தாலும் அவற்றைப் பிரித்துவிட ஒரேயளவு சக்தியே வேண்டியிருக்கும். இதனால் பவனத்தின் இறுக்கம் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாகுமென்று தெரிகிறது.

இவையெல்லாம் காற்றுக்கு இறுக்கமுண்டு என்பதைக் காட்டுகின்றன.

பாரமானி :—ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ளதொரு உறுதியான கண்ணாடிக் குழாயினுள்ளே பாதரசத்தை முற்றிலும் நிரப்பி, அதன் வாயை மூடிக்கொண்டு கவிழ்த்து, ஒரு கிண்ணத்திலுள்ள பாதரசத்தினடியில் அதை முழுக்கி, வாயைத் திறந்துவிட்டுக் குழாயைச் செங்குத்தாகப் பிடித்தால், குழாயினுள்ளே பாதரசம் முற்றிலும் நிரம்பி நிற்பதில்லை. ஏறக்குறைய 76 செ. மீ. உயரமே அது நிற்கும். இந்த ரச நிரையின்மேலுள்ள குழாயின் பகுதி ஏதுமின்றி வெறும்பாழாக (Vacuum) இருக்கும். இந்த உண்மையை 1643-ம் ஆண்டிலே டாரிஸில்லி என்னும் இத்தாலிய அறிஞர் கண்டுபிடித்தார். (படம் 131). குழாயைச் சிறிது சாய்த்துப் பிடித்தால், ரசம் பின்னும் குழாயினுள் ஏறுகிறது. ஆனால் இப்போதும் கிண்ணத்தினுள் ரச மட்டத்திற்கும் குழாயினுள் ரச நிரையின் மட்டத்திற்குமுள்ள வேற்றுமை அதே 76 செ. மீ. அளவே இருக்கும். சாய்வு அதிகரித்து குழாயின் முனை, கிண்ணத்திலுள்ள பாதரசத்திற்கு மேல் 76 செ. மீ. உயரத்திற்குள் நின்றால், பாதரசம் குழாய் முழுவதையும் நிரப்பிவிடும். இவ்வாறு சாய்ப்பதை சற்று விரைவாகச் செய்தால்

பாதரச நிரை குழாயின் அடியை மோதும்போதுண்டாகும் ஒலியை நன்றாகக் கேட்கலாம். இவ்வொலி ரச நிரைக்கும் குழாயினடிக்கும் இடையே 'காற்று அணை'

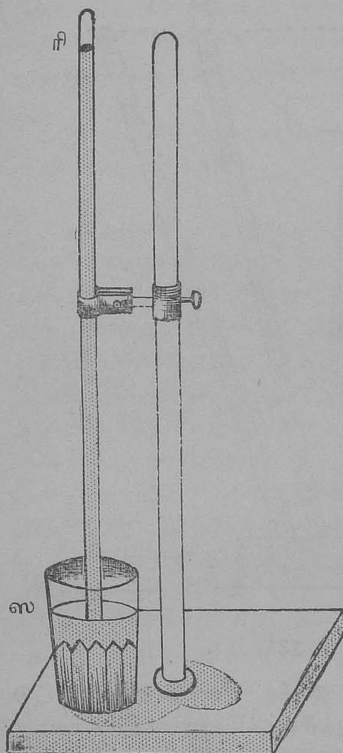


படம் 131

(Air cushion) ஒன்று இல்லை என்பதையே காட்டுகிறது. டாரிஸெல்லியே இந்நிகழ்ச்சிகளுக்குரிய சரியான காரணத்தைக் கண்டுரைத்தார். கிண்ணத்திலுள்ள பாதரசத்தின் பரப்பின்மீது தொழிற்படும் பவனத்தின் இறுக்கமே குழாயினுள்ளிருக்கும் ரச நிரையைத் தாங்குகிறது. எனவே பவன இறுக்கம் 76 செ. மீ.

உயாமுள்ள ரச நிரையின் எடைக்குச் சமம் என்று அவர் கூறினர்.

படத்தைச் சற்று கவனிப்போம். (படம் 132) ரி என்னுமிடத்தில் பரப்பின்மீதுள்ள இறுக்கம் பாதரச ஆவியால் ஏற்பட்டதாகும். இது மிக அற்பமானது. கிண்ணத்திலுள்ள ரச மட்டத்திலேயே குழாயினுள்ளிருக்கும் ஸ என்னும் புள்ளியினிறுக்கம், ஸ ரி என்னும் ரச நிரையின் எடைக்குச் சமமாகும். கிண்ணத்திலுள்ள பாதரசத்தின் பரப்பின்மீதுள்ள ஒரு புள்ளியினிறுக்கம், அப்புள்ளி ஸ-வோடு ஒரே மட்டத்திலிருப்பதால் ஸ-வின் இறுக்கத்துக்குச் சமமாக வேண்டும். ஆனல் அதன் இறுக்கம் அதன்மீது நிற்கும் பவனத்தின் இறுக்கமாகும். எனவே பவனத்தின் இறுக்கம் குழாயினுள் நிற்கும் ஸரி என்னும் ரச நிரையின் இறுக்கத்திற்குச் சமமாகும். இவ்வாறு சொல்லும்போது ரச நிரையின் வெட்டுவாய் ஒரு அலகுப் பரப்புக்

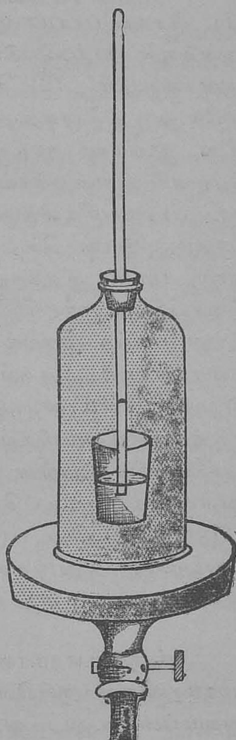


படம் 132

கொண்டிருப்பதாகக் கருதவேண்டும். இத்தகைய பவன-இறுக்கத்தை அளப்பதற்குரிய கருவிகளே பாரமானிகள் எனப்படும். மேலே கூறப்பட்ட ரச நிரையின் உயரம் 'பவன இறுக்க உயரம்' எனப்படும்.

இதில் பாதரசத்திற்குப் பதிலாகத் தண்ணீரை உபயோகித்திருந்தால் நீர் நிரையின் உயரம் சுமார் 34 அடியாகும்.

பாரமானியிலுள்ள ரச நிரையின் உயரம், அதைச் சூழ்ந்துள்ள காற்றின் இறுக்கத்தைச் சார்ந்தது என்பதைக் கீழ்க்கண்ட பரிசோதனையாலும் எடுத்துக் காட்டலாம். படத்தில் கண்டபடி ஒரு பாரமானிக் குழாயைத் தயார்செய்து வைக்கவும். (படம் 133). காற்று இறைவியின் கூண்டு திறந்திருக்கும்போது ரச நிரையின் உயரத்தைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். கூண்டை மூடிவிட்டுக் காற்றை வெளியேற்றவும். காற்று குறைந்து கிண்ணத்திலுள்ள பாதரசத்தின்மீது தாக்கும் இறுக்கம் குறைந்தவுடன் குழாயிலுள்ள ரச நிரையின் உயரம் குறைவதைப் பார்க்கலாம். கூண்டினுள்ளே காற்றே இல்லாதபடி வெளியேற்றிவிடக் கூடுமானல், கிண்ணத்திலும் குழாயினுள்ளும் பாதரசம் ஒரே மட்டத்திலிருக்கும்படி செய்துவிடலாம். கூண்டி



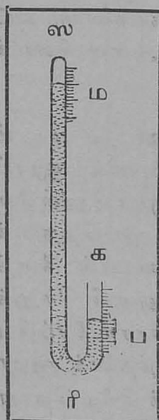
படம் 133

னுள்ளே சிறிது சிறிதாகக் காற்றைப் புகவிட்டால், குழாயினுள் பாதரசம் படிப்படியாக மேலேறித் தனது முன்னிலையை அடையும்.

பாரமானிகளை இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். (1) திரவப் பாரமானிகள். இவற்றிலே இறுக்கங்கள் அவற்றால் தாங்கப்படும் திரவ நிரைகளைக் கொண்டு அளக்கப்படும். (2) நெகிழ்ச்சிப் பாரமானிகள். இவற்றிலே ஒரு உலோகத் தகட்டினாலாகிய பெட்டி மூடியின் மீது இறுக்கம் தாக்குவதால் ஏற்படும் நெளிவைக் கொண்டு அவ்விறுக்கங்கள் அளக்கப்படும். சாமானியமாய் பாரமானிகளில் கையாளப்படும் திரவம் பாதரசமேயாகும். இதன் செறிவு மிகவும் அதிகமாய் இருப்பதால், பவன இறுக்கத்தால் தாங்கப்படும் இத்திரவ நிரையின் நீளம், 76 செ. மீட்டருக்குள் அடங்கிவிடுகிறது. மற்ற திரவங்களை உபயோகித்தால், அத்திரவ நிரைகள் பல அடிகள் நீளம் கொண்டனவாய் விடும். இவ்வளவு நீளமான குழாய்களைச் செய்வதும், அவற்றை எடுத்தாளுவதும் மிகவும் சிரமமாய்விடும். பாதரசத்தை உபயோகிப்பதிலுள்ள மற்றொரு நன்மை அது காற்றிலுள்ள ஈரத்தை உட்கொள்ளாமையாகும். கிளிஸரீன் (Glycerine) சிறு பான்மை உபயோகிக்கப்படுவதுண்டாயினும், அது ஈரத்தையுட்கொள்ளும் தன்மையுடையதாகையால் சிறிது தொல்லையை விளைவிக்கிறது.

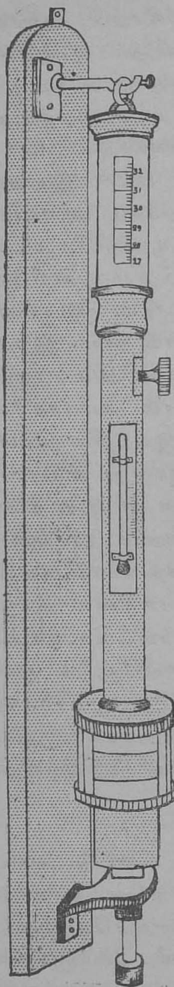
அங்குசப்பாரமானி :—(படம் 134). பாதரச பாரமானிகளுக்குள்ளே இதுவே மிக எளிதான அமைப்பை உடையது. இதில் J என்னும் எழுத்துப் போன்ற வடிவம்கொண்டதொரு கண்ணாடிக் குழாய் இருக்கிறது. வாய் மூடியதான ஸ என்னும் இதன் நீண்ட கிளை, ஏறக்குறைய 86 செ. மீ. நீளம்கொண்டது. சிறிய கிளையின் க என்னும் வாய் திறந்தே இருக்கும்.

இதிலே தூய்மையான பாதரசத்தை நிரப்பி, அதை நன்முகக் கொதிக்கக் காய்ச்சிக் குழாயினுட் புறங்களிலும் பாதரசத்திலும் ஒட்டி நிற்கும் காற்றுக்குமிழிகளையும், ஈரத்தையும் போக்கிவிடவேண்டும். ம ப என்னும் தூரமே பவன இறுக்க உயரமாகும். இறுக்கம் அதிகரிக்கும்போது நீண்ட குழாயிலே பாதரசம் மேலே ஏற, சிறிய குழாயிலே ரசமட்டம் குறைவுபடும். குழாயின் வெட்டு வாய் சீரானதாய் இருந்தால், இரண்டு கிளைகளிலும் ரசமட்டம் நகரும் தூரம் சமமாகவே இருக்கும். ஆனால் இவற்றின் திசை மட்டும் ஒன்றுக்கொன்று எதிராய் இருக்கும். எனவே மூடிய கிளையிலே 1 செ. மீ. அளவு ரச நிரை மேலேறினால் திறந்த கிளையிலும் 1 செ. மீ. அளவு ரசநிரை கீழே தாழும். இதனால் ம ப என்னும் தூரம் 2 செ. மீட்டரளவு அதிகரிக்கும். ஒவ்வொரு கிளையினோடும் ஒவ்வொரு அளவியைப் பொருத்தி, அதிலே ஒவ்வொரு அரை செ. மீட்டரையும் ஒரு செ. மீட்டராகக் கருதிக் குறித்து வைத்தால், இறுக்க மானியிலே ரசநிரையின் உயரத்தை எளிதிலே கண்டுவிடலாம்.




படம் 134

ஆனால் கண்ணாடிக் குழாய்களின் வெட்டு வாய் எப்போதும் சீராய் இருப்பதில்லை. எனவே இரண்டு அளவிகள் பொருத்தப்படுகின்றன. இவற்றிலே மூடிய கிளையோடு ஒட்டி இருக்கும் அளவி மேனோக்கிப் போகும்படியும், திறந்த கிளையோடு ஒட்டி இருக்கும் அளவி கீழ்நோக்கிப் போகும்படியும், இவ்விரண்டு

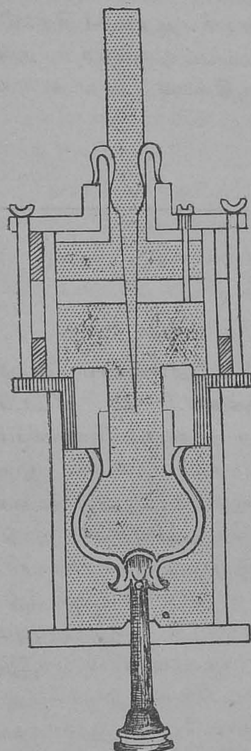


படம் 135

அளவிகளின் சூனியப் பிரிவுகளும் ஒரே படுகை மட்டத்திலே நிற்கும்படியும் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இரண்டு ரசமட்டங்களின் வாசகங்களையும் கூட்டினால் இறுக்கத்தின் அளவு கிடைக்கும்.

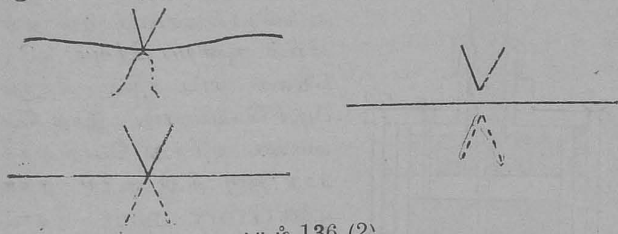
பார்டின் பாரமானி:—(படம் 135). இதிலே பாரமானிக் குழாய் மற்றொரு பித்தளைக் குழாயினுள்ளே வைக்கப்பட்டிருக்கும். இப்பித்தளைக் குழாயின் மீது ரச நிரையின் நீளத்தை அளப்பதற்குரிய அளவி செதுக்கப்பட்டிருக்கும். பாதரசம் நிரப்பிய சிறு தொட்டி இப் பித்தளைக் குழாயோடு இணைக்கப்பட்டுக் கீழே தொங்கும். இக்கருவி முழுவதுமே மேலேயுள்ளதொரு வளையம் அல்லது கொக்கியால் ஒரு பிடிப்பிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும். குழாயினுள் பாதரசம் ஏறி இறங்கும்போது தொட்டியிலும் பாதரசம் இறங்கி ஏறும். தொட்டியின் வெட்டுவாயை நோக்கக் குழாயின் வெட்டுவாய் மிகச் சிறியது. ஆனால் தொட்டியிலேற்படும் ரசமட்டத்தின் ஏற்றத் தாழ்வுகளை நாம் புறக்கணித்துவிடலாம். ஆனால் நுணுக்கமான ஈவுகள் வேண்டியபோது, நாம் இவ்வேற்றத் தாழ்வுகளையும் அளந்து கணக்கிலே சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும். அல்லது அவற்றை நீக்கவாவது வேண்டும். இதிலே இரண்டாவது

முறையே கையாளப்படுகிறது. இதற்காகத் தொட்டியின் அடிப்பாகம் தோலினுல் ஆக்கப்பட்டுள்ளது. இதனடியிலுள்ள ஒரு திருகைத் திருகுவதால், ரசமட்டத்தை நாம் விரும்பியபடி ஏற்றவும் தாழ்த்தவும் செய்யலாம். இதனுதவியால் ரசமட்டமும் அளவியின் சூனியப் பிரிவும் ஒரே படுகை மட்டத்தில் நிற்கும்படிச் செய்யலாம். இந்த நிலைமையை அறிந்து கொள்வதற்காக ஒரு சிறு கூரிய தந்த முனை (Ivory index) தொட்டியிலுள்ள பாதரசத்தின் மீது கீழ் நோக்கியவண்ணம் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 136 (1), (2) ). இம் முனையின் நுனியும் அளவியின் சூனியப் பிரிவும் ஒரே மட்டத்திலிருப்பன. எனவே, ரசமட்டம் தந்த முனையின் நுனியைத் தீண்டி நின்ருல், பாதரசமட்டம் சூனியப் பிரிவுக்குச் சரியாக நிற்கிறதென்று கொள்ளலாம். பாதரசத்தின் மேற் பரப்பினுள்ளே தந்த முனையின் உருவம் பிரதிபலிக்கும். எனவே தந்த முனையின் நுனியும், அதனுடைய படிவத்தின் நுனியும் ஒட்டி நிற்க, ரசப் பரப்பிலே குழிவு உண்டாகாமல் இருந்தால், முனையின் நுனி ரசப்பரப்பைத் தீண்டி நிற்கிறது என்று தெரிந்து கொள்ளலாம். படத்தைக்



படம் 136 (1)

(136 (2)) கவனிக்கவும். இதிலுள்ள அளவி பெரும் பாலும் 27 அங்குலம் முதல் 32 அங்குலம் வரை பிரிட் டிஷ் திட்டத்திலும், இதே இடை வெளி மெட்ரிக் திட்டத்திலும், அதாவது 68 செ. மீ. முதல் 84 செ. மீ. வரையிலும் வகைப்பாடு செய்யப்பட்டிருக்கும். அங் குலத்தின் ஐநூற்றிலொரு பகுதிவரை அளக்கும்



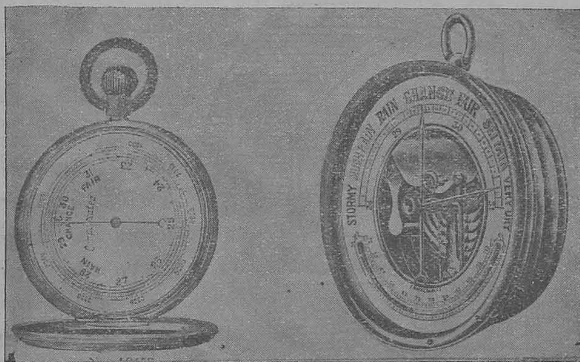
படம் 136 (2)

படியாக ஒரு வெர்னியரும் இந்த அளவியை ஒட்டி நகரும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கும். செ. மீட்டர் திட்டத்திலும் இதே போன்றதொரு வெர்னியர் இருக்கிறது. இதைக்கொண்டு செ. மீட்டரின் இரு நூற்றிலொரு பகுதி வரை நுணுக்கமாக அளவிடலா கும். இந்த வெர்னியர்கள் செதுக்கியுள்ள தகடு, பித்தளைக் குழாயின் நெடுக, இப்பகுதியிலே செய்யப் பட்டிருக்கும் இடை வெளியிலே நழுவிச் செல்லுகிறது. இவ்விடைவெளிவழியாகக் கண்ணுடிக் குழாயையும் அதிலுள்ள ரச நிரையையும் பார்க்கலாம். பின் புறத்தி லும் இதே போன்றதொரு இடை வெளி இருக்கிறது. இதிலும் ஒரு தகடு வெர்னியர் தகட்டோடு இணைக்கப் பட்டு நழுவிச் செல்லுகிறது. வெர்னியர் தகட்டின் அடியும் இத்தகட்டின் அடியும் ஒரே படுகைமட்டத்தி லிருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கும். எனவே, ஒரு வன் பின்னுலுள்ள தகட்டின் அடிப்புறம் வெர்னியரின் அடிப்புறத்தால் சரியாக மறைவு படும்படிப் பார்த்தால் அவனது பார்வை படுகை மட்டத்திலே இருக்கும்.

ரசநிரையின் மேல் மட்ட விளிம்பும், முற்கூறிய இரண்டு தகடுகளின் அடிப்புறங்களும், ஒரே பார்வையில் இருக்கும்படி தகடுகளைச் சரிப்படுத்தி வைத்தால், வெர்னியரின் சூனியப் பிரிவும் ரசமட்டத்தின் விளிம்பும் ஒரே மட்டத்திலொன்றுபடும். இவ்வாறு வெர்னியர் தகட்டை நாம் விரும்பியவாறு நகர்த்துவதற்காக, பித்தளைக் குழாயின் புறத்திலே ஒரு திருகு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

எனவே இந்தப் பாரமானியிலே வாசகங்கள் காணும்போது, முதலில் தொட்டியிலுள்ள ரசமட்டத்தையும் பிறகு வெர்னியரையும் மேலே கண்டவாறு சரிப்படுத்திவிட்டே பிறகு வாசகங்களைக் காணவேண்டும்.

பாரமானியின் வாசகங்களிலே சூடு வேறுபாட்டிற்காகச் செய்யவேண்டிய திருத்தத்தைப் பின்னால் வெப்பவியலிலே விரிவாகக் கூறப்படும்.




படம் 137 (1)

நேகழ்ச்சிப் பாரமானிகள் :—(படம் 137 (1)). பாதரசப் பாரமானிகள் நீளமாய் இருப்பதாலும், பாதரசம் எளிதிலே கீழே சிந்திவிடக் கூடுமாகையாலும்

அவற்றைப் பல வேறிடங்களுக்கு எடுத்துச் செல்வது எளிதான காரியமன்று. இதற்காக நெகிழ்ச்சிப் பாரமானிகள் என்னும் ஒரு வகைப் பாரமானிகள் இயற்றப்பட்டுள்ளன. இதிலே உட்கூடான உருளை வடிவமைந்த பெட்டியொன்று இருக்கிறது. இதன் மேல் முகம் அலைபோல நெளிந்திருக்கும். இதிலுள்ள காற்றெல்லாம் வெளியேற்றப்பட்டிருக்கும். பவன இறுக்கம் மேல் முகத்தின் மீது அழுத்துகிறது. இப்பவன இறுக்கம் மாறுபடும்போது இந்த முகமும் மேலும் கீழுமாக எழும்பித் தாழும். இந்த இயக்கத்தை நெம்பு கோல்களைக் கொண்டதொரு சாதனத்தால் ஒரு சூசிகையைக் கொண்டு நாம் அறிகிறோம். இந்தச் சூசிகை ஒரு தட்டிலே கடியார முள்ளைப்போலச் சுழலுகிறது. இத்தட்டைச் சுற்றிலும் ரசநிரையின் நீளங்கள் அங்குல அளவுகளிலும், செ. மீட்டர் அளவுகளிலும் எண்களால் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. (படம் 137 (2)). படத்தில் நெகிழ்ச்சிப் பாரமானியின் யந்திர அமைப்பைக் காணலாம். பாழ் அறை (vacuum chamber)யினது மூடியின் அசைவு முதலில் ஸ என்னும் வில்லைத் தாக்கி, அதிலிருந்து ரி, ம என்னும் நெம்பிகள் வழியாக க என்னும் சூசிகையைச் சென்று

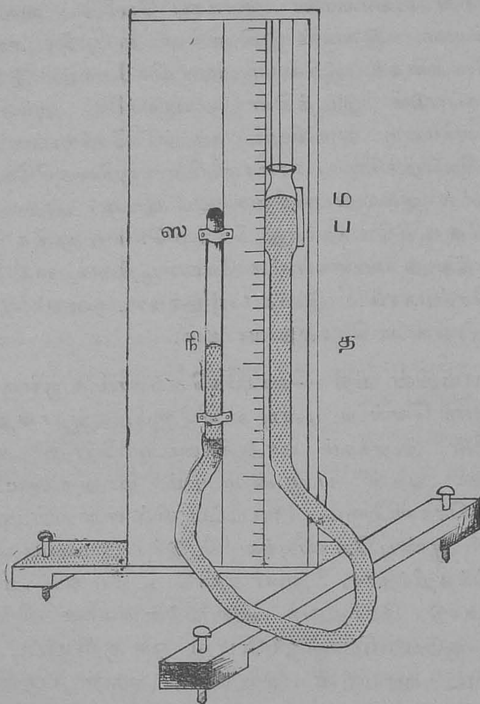
படம் 137 (2)

தாக்குகிறது. நெகிழ்ச்சிப் பாரமானிகள் சிறிய கடியாரங்களின் அளவிலே செய்யப்படுவதுமுண்டு. இவை மலைகளின் உயரங்களை அளக்கப் பெரிதும் கையாளப் படுகின்றன. இதனால் இதிலுள்ள தட்டிலே ரசநிரையின் நீளத்தைக் குறிக்கும் அளவிகளோடு, இறுக்கம் அளக்கப்படும் இடத்தின் உயரங்களை அடிகளிலே குறிக்குமொரு அளவியும் உடன் சேர்க்கப்பட்டிருக்கும். நெகிழ்ச்சிப் பாரமானியின் சூசிகையிலே ஒரு பென்ஸில் அல்லது தூரிகையைப் பூட்டி, அது தனது நுனியினடியிலே நகர்ந்து செல்லுமொரு காகித நாடாவிலே தனது வாசகங்களை கோடிழுத்துக் காட்டும்படியும் செய்யலாம். இதை 'இறுக்க உருவகம்' (barograph) என்று சொல்லுவார்கள்.

பாயிலின் விதி :—வாயுக்களெல்லாம் சுருங்குமியல்புடையன வென்று முன்பு கூறினோம். அதாவது ஒரு வாயுவின் இறுக்கம் மாறுதலடையும்போது அதைச் சார்ந்து அதன் பருமையும் மாறுதலடைகிறது என்று சொன்னோம். ராபர்ட்பாயில் என்னும் அறிஞர் 1662-ம் ஆண்டிலே வாயுக்களின் இந்த இயல்பை நன்றாக ஆராய்ந்தறிந்தார். அவர் கண்டு கூறியதும் அவரது பெயரோடு சேர்த்துக் கூறப்படுவதுமான விதி வருமாறு :–சூடு மாறதிருக்கும்போது, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறை கொண்ட வாயுவின் இறுக்கம், அதன் பருமைக்கு எதிர் விகிதமானது. அல்லது சூடு மாறிலியாய் நிற்க ஒரு குறிப்பிட்ட நிறை கொண்ட வாயுவின் இறுக்கத்தையும் பருமையும் பெருக்கி வந்த தொகை ஓர் மாறிலியாகும்.

இந்த விதியை இரண்டு வழிகளிலே பரிசோதித்துக் காணலாம். (படம் 138). படத்தில் கண்டபடி ஸநி, மத என்பன இரண்டு கண்ணாடிக் குழாய்கள். இவை நிலையான ஒரு தாங்கு காலிலே நிமிர்வையாகப்

பிடித்து நிறுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றின் அடி முனைகள் ஒரு தடித்த இந்திய ரப்பர்க் குழாயினால்



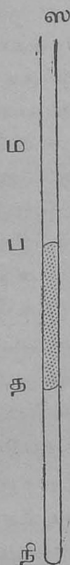

படம் 138

சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஸநி என்னும் குழாயின் மேல் முனை மூடப்பட்டிருக்கிறது. பம என்பது ஒரு அகன்ற குழாய். இதன் மேல்வாய் திறந்தே இருக்கிறது. ஒரு நீண்ட அளவி நிமிர்வையாக இந்தக் குழாய்களுக் கிடையிலே நிறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. ரப்பர்க் குழாய் முழுவதும் கண்ணடிக் குழாய்களின் அடிப்பாகமும்

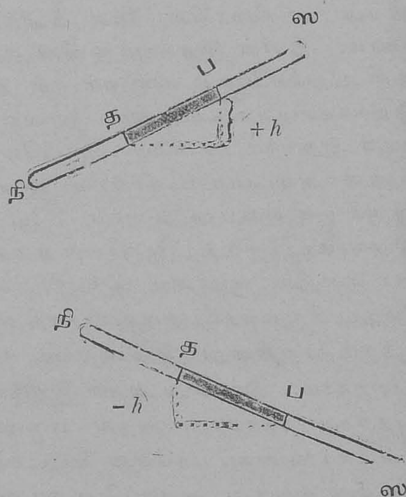
பாதரசத்தால் நிரம்பி உள்ளன. ஸநி யினுள்ளே மிகுந்துள்ள இடத்தில் நன்றாக உலர்ந்த காற்று இருக்கிறது. இதுவே நாம் பரிசோதனைக்காக எடுத்துக் கொண்ட குறிப்பிட்ட நிறை கொண்ட வாயுவாகும். ஸநி-யின் வெட்டு வாய் சீரானதாய் இருப்பதால், இக் காற்றின் பருமை ஸநி என்னும் குழாயிலே ரசமட்டத்திற்கு மேலே உள்ள நீளத்திற்கு ஏற்ப நேராக இருக்கும். இந்த நீளத்தை அளவியினுதவியால் நேரிலே அளந்து கண்டுவிடலாம். நி யிலிருந்து செல்லும் படுகைக் கோடு, நகரும் குழாயை த என்னுமிடத்தில் குறுக்கிடுவதாகக் கொள்வோம். ம என்பது இதி லுள்ள ரச நிரையின் மேல் விளிம்பு என்று கொள் வோம். நி யின் இறுக்கம் த வினிறுக்கத்திற்குச் சமம். த வினுறுக்கமோ ம என்னும் ரச நிரையோடு பவன இறுக்கத்தைக் கூட்டவரும் தொகை ஆகும். எனவே பவன இறுக்கம் ரச நிரை அளவிலே H ஆனல் ஸநி யினுள் அடைப்பட்ட காற்றின் இறுக்கம் (H + மத) ஆகும். ம என்பது த-வுக்கு கீழே இருந்தால் இந்த இறுக்கம் (H — மத) ஆகுமென்று காட்டலாம். எனவே மப என்னும் குழாயை ஒரு நிமிர்வைக் கோட்டிலே மேலும் கீழும் நகர்த்துவதால், ஸநி யினுள் அடைபட்டிருக்கும் காற்றினது இறுக்கத்தை நாம் விரும்பியபடி மாற்றலாம். இவ்வாறு அதன் இறுக்கம் மாறும்போது அதற்குத் தக்கவாறு அதன் பருமையும் மாறுபடும். எனவே பம வைப் பல்வேறு மட்டங்களிலே நிறுத்திப் பிடித்து வைத்து, அவ்வப்போதும் ஸநி என்னும் நீளத்தால் காற்றின் பருமையை அளந்து கொள்ளவும். மேலும் நி, ம-க்களின் மட்ட வேற்றுமையாகிய மதவையும், அளவியினுதவியால் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். ஒரு பார்டின் பாரமானியால் பவன இறுக்கமாகிய H-ஐக்கண்டு அதனேடு அவ்வப்போதும் மத வைக்

கூட்ட அல்லது கழிக்க (H ± மத) அடைபட்டுள்ள காற்றின் இறுக்கம் கிடைக்கும். இந்த வாசகங்களிலிருந்து காற்றின் பருமை இறுக்கங்களின் பெருக்குத் தொகையாகிய ஸநி × (H ± மத) ஒரு மாறிலி என்று காட்டலாகும். இது பாயில் விதி உண்மையென்று காட்டுகிறது.

(2) படத்திலே காணப்படும் ஒரு எளிய கருவியினுதவியாலும் பாயிலின் விதியைப் பரிசோதனை செய்யலாம். (படம் 139 (1)). ஸநி என்பது 100 செ. மீட்டர்




படம் 139 (1)




படம் 139 (2)

நீளமும், 2 மி. மீ. குறுக்களவும், சீரான வெட்டு வாயும், கொண்ட ஒரு உறுதியான கண்ணாடிக் குழாயாகும்

இக்குழாயை நன்றாகச் சுத்தம்செய்து உலர வைக்கவும். இதனுள் ஏறக்குறைய 30 செ. மீ. நீளமுள்ள தப என்னும் ஒரு ரச நிரையைச் செலுத்தி, இதன் ஒரு முனையை அனலில் காய்ச்சி மூடிவிடவும். (குழாய் படுகைவாக்கிலே இருக்கும்போது நித என்பது சுமார் 40 செ. மீ. நீளம் இருக்கவேண்டும்). இப்போது குழாயினுள்ளே ஓரளவு காற்று அடைபட்டிருக்கிறது. இதன் பருமை நித என்னும் நீளத்திற்கு ஏற்பநேராகவுள்ளது. எனவே அதன் பருமைக்குப் பதிலாக நாம் நித வை எடுத்துக்கொள்ளலாம். பவன இறுக்கத்தோடு தப என்னும் ரச நிரையின் நிமிர்வையான உயரத்தைக் கூட்ட, அல்லது கழிக்க, அக்காற்றின் இறுக்கம் கிடைக்கும். திறந்த முனைமேனோக்கி இருந்தால், (படம் 139 (2)) $h$ என்னும் இந்த உயரத்தை பவன இறுக்கமாகிய H என்பதோடு கூட்டவேண்டும். எனவே அப்போது இறுக்கம் $(H + h)$ ஆகும். திறந்த முனை கீழ்நோக்கி இருந்தால், இந்த உயரத்தைப் பவன இறுக்கத்திலிருந்து கழிக்கவேண்டும். அப்போது இறுக்கம் $(H-h)$ ஆகும்.

குழாய் படுகை நிலையிலே இருக்கும்போது $h$ சூனியமாய் விடுவதால் அடைபட்ட காற்றின் இறுக்கம் பவன இறுக்கமேயாகும்.

இந்தக் குழாயைப் பலவேறு நிலைகளிலே வைத்து, அவ்வப்போது நித வின் நீளத்தை அளந்து கொள்ளவும். இது அடைப்பட்ட காற்றின் பருமையைக் குறிக்கும். அவ்வப்போதும் ரச நிரையின் இரு முனைகளாகிய த,பக்களின் மட்ட வேற்றுமை $h$-யையும் ஒரு அளவியால் அளந்து, அவற்றைப் பவன இறுக்கமாகிய H-வுடனே கூட்டவும் அல்லது கழித்துவிடவும். ஒவ்வொரு தடவையும் பருமை இறுக்கங்களின் பெருக்குத் தொகையாகிய நித $(H + h)$ என்னும் இராசி மாறிலி

யாய் இருப்பதைக் காணலாகும். இதுவும் பாயிலின் விதி உண்மையான தென்று காட்டுகிறது.

காற்றையுட்கொண்ட பாரமானிகள் :—ஒரு பாரமானிக் குழாயினுள்ளே ரச நிரைக்கு மேலேயுள்ள இடத்தில் சிறிதளவு காற்றுப் புகுந்து விடுவதாகக் கொள்வோம். அதை மிக எளிதிலே கண்டுபிடித்து அதற்குறிய திருத்தத்தைச் செய்து விடலாம். இதற்கு வேறொரு பாரமானியின் துணை கூட வேண்டியதில்லை. அதைச் செய்யும் முறைவருமாறு :—

பாரமானியின் குழாயைச் சிறிது சாய்க்கவும். இவ்வாறு சாய்க்கும்போது பாதரசத்தைக் கீழே சிந்தி விடாமல் பார்த்துக் கொள்ளவேண்டும். ரசநிரை குழாயினுள் மேலேறும். வேண்டிய அளவு சாய்க்கப் பட்டால் ரசநிரை குழாயின் மூடியைச் சென்று தொட்டு அதை முற்றிலும் நிரப்பிவிடவேண்டும். இவ்வாறு நிரம்பாமல் ஒரு சிறு இடம் மட்டும் மிகுந்து நின்றால் உள்ளே காற்று புகுந்து விட்டதென்று தெரிந்து கொள்ளலாம். இதற்குரிய திருத்தத்தை வேறொரு பாரமானியின் துணையுமின்றிக் காணும் முறைவருமாறு :—

பாரமானியிலே ரசநிரையின் நீளத்தையும் அதன் மேலேயுள்ள பாழிடத்தின் நீளத்தையும் அளந்து கொள்ளவும். அவை முறையே $h_1$, $l_1$ என்று கொள்வோம். பாரமானிக்குழாயைக் கீழே பாதரசத்தினுள் பின்னும் அழுத்தி, மேலேயுள்ள பாழிடத்தின் நீளம் முன்னைய அளவிலே ஏறக்குறைய பாதியாகும்படி செய்து, மறுபடியும் அதன் நீளத்தையும் ரச நிரையின் நீளத்தையும் அளவிடவும். இவை முறையே $l_2$ என்றும், $h_2$ என்றும் கொள்ளுவோம். H என்பது பவனத்தின் இறுக்க மென்று வைத்துக்கொள்வோம்.

முதல் நிலையில் பாழிடத்தில் நின்ற காற்றின் இறுக்கம் $(H-h_1)$ ஆகும். இரண்டாவது நிலையில் அது $(H-h_2)$ ஆகும். அதன் பருமைகளோ முறையே $l_1, l_2$ க்களுக்கு ஏற்பவை. எனவே பாயிலின் விதியைப் பிரயோகிக்கவே $(H-h_1)\, l_1 = (H-h_2)l_2$ ஆகும். இதனால் H ஐக் கணக்கிட்டு விடலாம். $(H-h)l = k$ என்றும் $h, l$ என்பன ஒரு சமயத்திலே முறையே ரசநிரையின் உயரமும், காற்று நிரையின் நீளமும் ஆகுமென்றும் கொள்வோம். இப்போது அடைபட்டிருக்கும் காற்றின் இறுக்கம் $k/l$ ஆகும். எனவே அப்போது பவனத்தின் இறுக்கம் $(h + k/l)$ ஆகும்.

உதாரணம் (1) ·01 க. அங். பருமைகொண்டதொரு காற்றுக் குமிழ் ஒரு ஏரியினடியிலே இருக்கிறது. அது மேலெழும்பி நீர்மட்டத்திற்கருகில் வந்தபோது அதன் பருமை ·035 க. அங். ஆயிற்று. தண்ணீர் பாரமானியின் உயரம் 33 அடி என்று கொண்டு ஏரியின் ஆழத்தைக் கணக்கிடுக.

ஏரியின் ஆழம் $x$ அடி என்று கொள்வோம். நீர்மட்டத்திலே இறுக்கம் $P_2 = 33'$ நீர் நிரையாகும். ஏரியினடியிலே இறுக்கம் $P_1 = (33 + x)'$ நீர் நிரையாகும். நீர்மட்டத்திலே காற்றுக் குமிழியின் பருமை $v_2 = \cdot 035$ க. அங்.

ஏரியினடியிலே காற்றுக் குமிழியின் பருமை $v_1 = \cdot 01$ க. அங்.

பாயில் விதிப்படி $p_1 v_1 = p_2 v_2$

அதாவது $(33 + x) \cdot 01 = 33 \times \cdot 035$

$\cdot 33 + \cdot 01\, x = 1 \cdot 155$

அல்லது $x = 8 \cdot 25$

ஏரியின் ஆழம் 8·25 அடியாகும்.

உதாரணம் (2) ஒரு குன்றின் அடிவாரத்தி லிருப்பதைவிட அதனுச்சியில் பாரமானி வாசகம் 1 அங். குறைவாக இருக்கிறது. பாதரசத்தின் செறிவு 13·6 கி/க. செ. மீ. என்றும் காற்றின் செறிவு ·00129 கி/க. செ. மீ. என்றும் கொண்டு குன்றின் உயரத்தைக் கணக்கிடுக. உயரச் செல்லச் செல்ல காற்றின் செறிவி லேற்படும் வேறுபாட்டை ஒதுக்கி விடவும்.

குன்றின் உயரம் $x$ அடி என்று கொள்வோம். குன்றினடியிலுள்ள இறுக்கம் $p_1$ என்றும், குன்றின் உச்சியிலுள்ள இறுக்கம் $p_2$ என்று கொண்டால்,

$(p_1 - p_2)$ = 1 அங்குல ரசநிரை.

= $1 \times 13{\cdot}6$ அங். நீர்நிரை.

$$= \frac{1 \times 13{\cdot}6}{{\cdot}00129} \times \frac{1}{12}$$

= 878·6 அடி காற்றுநிரையாகும்.

எனவே குன்றின் உயரம் 878·6 அடியாகும்.

உதாரணம் (3) சிறிதளவு காற்று புகுந்துள்ள தொரு பாரமானியின் வாசகம் 76 செ. மீ. ஆனல் அப் போது உண்மையான பவன இறுக்கம் 77 செ. மீட்டர் கள். கிண்ணத்தில் உள்ள ரச மட்டத்திற்கு மேலே குழாயின் உச்சிவரை உயரம் 85 செ. மீட்டர்கள். இந்த பாரமானியின் வாசகம் 75 செ. மீ. ஆனபோது உண்மை யான பவன இறுக்கம் யாதாக இருக்கும்?

அடைபட்டுள்ள காற்றின் பருமையை அளப்ப தற்கு 1 செ. மீ. நீளமுள்ள குழாயின் பருமையை அல காகக் கொள்வோம்.

உண்மையான பவன இறுக்கம் 77 செ. மீ.

பாரமானி வாசகம் காட்டும் இறுக்கம் 76 செ. மீ.

∴ அடைபட்டுள்ள காற்றின் இறுக்கம்

$$p_1 = 77 - 76 = 1 \text{ செ. மீ.}$$

அக்காற்றின் பருமை $v_1 = 85 - 76 = 9$

பாரமானி வாசகம் 75 செ. மீ. ஆனபோது அடைபட்டுள்ள காற்றின் பருமை $v_2 = 85 - 75 = 10$. அப்போது அதன் இறுக்கம் $p_2$ என்று கொள்வோம்.

பாயில் விதிப்படி $p_1 v_1 = p_2 v_2$

அதாவது $1 \times 9 = p_2 \times 10$

அல்லது $p_2 = \frac{9}{10}$ செ. மீ.

எனவே இப்போது பவனத்தின் உண்மையான இறுக்கம் $= 75 + \frac{9}{10} =$ **75·9** செ. மீ. ஆகும்.

உதாரணம் (4) சிறிதளவு காற்று டாரிசேலியின் பாழிடத்திலே புகுந்து விட்டதால் பவன இறுக்கம் 30″ இருக்கும்போது ஒரு பாரமானி 29″ காட்டுகிறது. பவன இறுக்கம் 27″ இருக்கும்போது 26·5″ காட்டுகிறது. இந்தப் பாரமானியின் வாசகம் 21·5 அங். இருக்கையில் உண்மையான பவன இறுக்கம் யாதாகும்?

பாரமானி 29″ காட்டும்போது ரசநிரைக்கு மேலே குழாய் $x''$ நீண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம்.

அடைபட்டுள்ள காற்றின் பருமையை அளப்பதற்கு ஒரு அங். நீளமுள்ள குழாயின் பருமையை அலகாகக் கொள்வோம். பவன இறுக்கம் 30″ ரசநிரையாக இருக்கும்போது அடைபட்டுள்ள காற்றின் இறுக்கம் $P_1 = 30'' - 29'' = 1''$

அதன் பருமை $v_1 = x$

பவன இறுக்கம் 27" ரசநிரையாக இருக்கும்போது அடைபட்டுள்ள காற்றின் இறுக்கம்

$P_2 = 27 - 26 \cdot 5 = 0 \cdot 5''$

அதன் பருமை $v_2 = x + 2 \cdot 5$

பாயில் விதிப்படி $P_1 v_1 = P_2 v_2$

அதாவது $1 x = \cdot 5 (x + 2 \cdot 5)$

அல்லது $x = 2 \cdot 5$ அங்.

நிற்க பாரமானி வாசகம் 21·5" இருக்கும்போது பவன இறுக்கம் $y$ என்று கொள்வோம். அப்போது அடைபட்டுள்ள காற்றின் இறுக்கம் $P_3 = (y - 21 \cdot 5'')$ அதன் பருமை $v_3 = 2 \cdot 5 + 7 \cdot 5 = 10''$

ஆனால் $P_1 v_1 = P_3 v_3$

அதாவது $2 \cdot 5 = (y - 21 \cdot 5) 10$

அல்லது $y = 21 \cdot 75$ அங்.

எனவே பாரமானி வாசகம் 21·5" இருக்கும்போது உண்மையான பவன இறுக்கம் 21·75 அங். ஆகும்.

உதாரணம் 5. சீரானதொரு கண்ணாடிக் குழாயின் ஒரு முனை மூடப்பட்டிருக்கிறது. இதனுள்ளே 20 செ. மீ. நீளமுள்ளதொரு ரசநிரை நிற்கிறது. அடைபட்ட காற்றுநிரையின் நீளம் குழாய் செங்குத்தாய் நிற்கும்போது 20·1 செ. மீட்டரும், கவிழ்ந்து நிற்கும்போது 34·6 செ. மீட்டரும் ஆகும். பவன இறுக்கத்தைக் கணக்கிடுக.

பவன இறுக்கம் H செ. மீ. ரசநிரை என்று கொண்டால்,

குழாய் செங்குத்தாக நிற்கும்போது அடைபட்ட காற்றின் இறுக்கம்

$P_1 = (H + 20)$ செ. மீ. ரசநிரை.

குழாய் கவிழ்ந்து நிற்கும்போது அடைபட்ட காற்றின் இறுக்கம்

$P_2 = (H-20)$ செ. மீ. ரசநிரை.

செங்குத்தாகக் குழாய் நிற்கும்போது

அதன் பருமை $v_1 = 20\cdot1$

கவிழ்ந்து நிற்கும்போது அதன்

பருமை $v_2 = 34\cdot6$

பாயில் விதிப்படி $P_1v_1 = P_2v_2$

அதாவது $(H+20)\ 20\cdot1 = (H-20)\ 34\cdot6$

$20\cdot1 \times H + 402 = 34\cdot6 \times H - 692$

$H = 75\cdot45$ செ. மீ.

எனவே பவன இறுக்கம் **75·45** செ. மீ. ஆகும்.

---

## வினாக்கள்

1. ஒரு பாதரச பாரமானியின் அமைப்பையும், அதன் செயல் முறையையும், அதைக்கொண்டு வாசகம் காணும் முறையையும் வருணிக்கவும். இதற்குரிய முன்னெச்சரிக்கைகளையும் எடுத்துக் கூறுக.

(காசி 1933)

2. ஒரு பார்டின் பாரமானியிலே வாசகம் காணும் போது, தொட்டியிலுள்ள பாதரச மட்டம் ஏன் தந்த சூசிகையின் நுனியைத் தீண்டும்படி செய்யப்படுகிறது? வேண்டிய படங்களை வரைந்து இது எவ்வாறு சரிப்படுத்தப்படுகிறதென்பதையும், ரசநிரையின் உயரத்தை யளக்கும்போது எவ்வாறு புடைபெயர்ச்சிப் பிழை நீக்கப்படுகிறது என்பதையும் விளக்குக.

(சென்னை 1924 மார்ச்.)

3. பாதரச பாரமானியை வருணிக்கவும். அதில் வாசகம் காணும்போது செய்யவேண்டிய முன்னேற்பாடுகள் என்ன? பாரமானியில் ரசநிரையின் மீது (*a*) சிறிது காற்றுப்புகுவதால் (*b*) சிறிது நீராவி புகுவதால் நேரிடக்கூடிய விளைவுகள் என்ன?

(ஆக்ஸ் 1929)

4 (*a*) டாரிஸிலியின் பரிசோதனையிலே பாதரசநிரையைத் தாங்கி நிற்பது பவன இறுக்கமென்பதைக் காட்டும் பரிசோதனைகளை விவரிக்கவும்.

(*b*) ஒரு காற்று இறைவியின் செயல் முறையை விவரிக்கவும்.

(*c*) பவன இறுக்கத்திலே காற்று நிறைந்துள்ள ஒரு உருளைவடிவான சாடி தலைகீழாகத் தண்ணீரிலே முழுக்கப்படுகிறது. சாடியில் பாதிவரை தண்ணீர்

நிரம்பி இருக்கும்போது, அதனுள் தண்ணீர் மட்டம் வெளியிலுள்ள மட்டத்திற்கு எவ்வளவு தாழ்ந்திருக்கும்.

(ரங்கூன் 1933)

5. பாயில் விதியையும் சார்லஸ் விதியையும் எடுத்துக் கூறுக.

இவற்றிலிருந்து Pv/T = மாறிலி என்று காட்டுக.

கொடைக்கானலிலே பாதரச பாரமானியின் உயரம் 22 அங். இதை மெட்ரிக் திட்டத்திலே கூறுக.

(ஆந்திரா 1933)

6. பாயில் விதியை எடுத்துக் கூறி அதைச் சரி பார்ப்பதற்கு நீ செய்த தொரு பரிசோதனையை விவரிக்கவும்.

ஒரு நெகிழும் பையிலே பவன இறுக்கம் கொண்ட 25 க. அடி காற்று அடைபட்டிருக்கிறது. அதை ஒரு ஏரியிலே தண்ணீர் மட்டத்திற்கு 250 அடி கீழே அமுக்கினால் அதன் பருமை எவ்வளவாகும். தண்ணீர் பாரமானியின் உயரம் 33 அடி ஆகும்.

(சென்னை 1928 செப்.)

7. பாரமானியிலே ரசநிரைக்கு மேலேயுள்ள இடத்திலே காற்று இருக்கிறதா இல்லையா என்பதை நீ எவ்வாறு பரிசோதிப்பாய்? வேறொரு பாரமானியும் கிடைக்காத போது காற்றைக் கொண்டுள்ள பாரமானியின் வாசகத்துக்கு வேண்டிய திருத்தத்தை எவ்வாறு காண்பாய் என்பதையும் காட்டுக.

(சென்னை 1924)

8. ஒரு புறம் மூடியுள்ள சீரானதொரு குழாயின் திறந்தவாய், ஒரு தொட்டியிலுள்ள பாதரசத்

திலே முழுக்கப்பட்டுச் செங்குத்தாக நிற்கிறது. குழாயின் நீளம் 33 அங்குலங்கள். இப்போது 10 அங். மட்டுமே வெளியே தெரிகிறது. பரிசோதனை செய்யுங் காலத்திலே பாரமானியின் உயரம் 30 அங்குலங்கள். குழாயினுள்ளே எவ்வளவு உயரத்திற்குப் பாதரசம் ஏறுமென்று காண்க.

(சென்னை 1925 செப்.)

9. ஒரு குழாயினுள்ளே பாதரச நிரைக்கு மேலே சேகரிக்கப்பட்ட வாயுவின் பருமை 40 க. செ. மீ. அதன் இறுக்கம் 95 செ. மீ. ரசநிரை. வாயுவிலே சிறிதளவு வெளிப்பட்ட பின்னர் எஞ்சி நின்றது 76 செ. மீ. ரசநிரை இறுக்கத்திலே 25 க. செ. மீ. பருமை கொண்டது. வாயுவிலே எவ்வளவு பகுதி வெளியேறியது ?

10. சீரான மெல்லிய கண்ணுடிக் குழாயொன்றிலே ஒரு முனை மூடியிருக்கிறது. இதனுள்ளே 20 செ. மீ. நீளமுள்ளதொரு ரசநிரை சிறிதளவு காற்றை அடைத்துக்கொண்டிருக்கிறது. இக்குழாய் செங்குத்தாக மேனோக்கி நிற்கும்போது அடைபட்ட காற்று நிரையின் நீளம் 28·2 செ. மீ., கவிழ்ந்து நிற்கும்போது அதன் நீளம் 48·2 செ. மீட்டர்கள். பவன இறுக்கத்தைக் காண்க.

(சென்னை 1916)

11. 30 செ. மீ. நீளமுள்ள ஒரு மெல்லிய சீரான குழாய் இரு முனையும் திறந்துள்ளது. இதன் ஒரு முனையைப் பாதரசத்தினுள்ளே 20 செ. மீ. ஆழம் வரை முழுக்கி, மேல் முனையை விரலால் இறுகமூடி குழாய் வெளியே எடுக்கப்பட்டது. இக்குழாயிலே தங்கி வரக்கூடிய ரசநிரையின் நீளம் யாதாகும் ?

(சென்னை 1914)

12. காற்று புகுந்ததொரு பாரமானியின் வாசகம் 27·45" இருக்கும்போது, பவனத்தின் இறுக்கம் 29·85". இந்தப் பாரமானியிலே ரசகிரைக்கு மேலேயுள்ள குழாயின் நீளம் 5". இதில் அடைபட்டிருக்கும் காற்று கட்டளை இறுக்கத்திலே (30") எவ்வளவு பருமை கொண்டிருக்கும்?

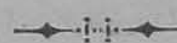
(ஆந்திரா 1932)

13. ஒரு பாரமானிக் குழாய் தொட்டியிலுள்ள ரசமட்டத்திற்கு மேலே 82 செ. மீ. நீண்டிருக்கிறது. இதனுள்ளே காற்றுப் புகுந்துவிட்டதால் இது திருத்தமான வாசகங்களைக் கொடுப்பதில்லை. ஒரு திருத்தமான பாரமானியின் வாசகம் 75 செ. மீட்டராக இருக்கும்போது, இந்தப்பாரமானியின்வாசகம் 70 செ. மீட்டராக இருக்கிறது. இப்போது அடைபட்டுள்ள காற்றின் இறுக்கம் யாது? இந்தப் பாரமானியின் வாசகம் 67 செ. மீட்டராக இருக்கும்போது உண்மையான பவன இறுக்கம் யாது?

(சென்னை 1921)

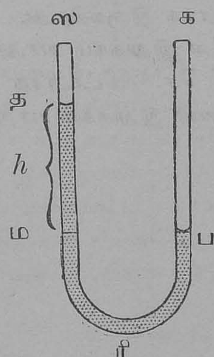
---

# அத்தியாயம் 15



## இறுக்கமானி, இறைவிகளும் நிறைவிகளும்
## (Monometer and Pumps)

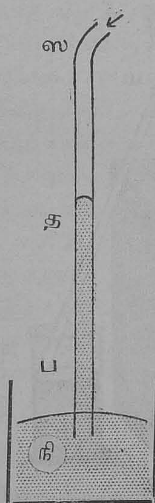
இறுக்கமானி (monometer) :—இக்கருவி சாமானியமாய் ஓரிடத்தில் அடைபட்டிருக்கும் வாயுவின் இறுக்கத்தை அளப்பதற்குக் கையாளப்படுகிறது. இதிலே ஸரிக என்னும் மெல்லிய நீண்ட **U** வடிவைக் கொண்டதொரு கண்ணடிக் குழாய் இருக்கிறது. இதனுள்ளே ஏதேனுமொரு தக்க திரவம் நிரம்பி இருக்கும். இதன் கிளைகள் நிமிர்வையாக நிற்குமாறு இது பிடிக்கப்பட்டிருக்கும். இதன் ரிக என்னும் ஒரு கிளை, இறுக்கம் அளக்கவேண்டிய வாயுவைக் கொண்ட கலத்தோடு இணைக்கப்படும். இதனால் கரி என்னும் கிளையிலே திரவ மட்டத்தின்மீது அவ்வாயு நிரம்பி இருக்கும். இவ்வாறு வைக்கப்பட்டபோது படத்தில் (படம் 140) கண்டவாறு திரவ மட்டங்கள் முறையே த, ப என்னுமிடங்களிலே நிற்பதாகக் கொள்வோம். த, ப என்னு மிரு புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட இறுக்க வேற்றுமை த, ம என்னும் திரவ நிரையின் எடையாகும். இந்த நிரையின் உயரம் $h$ என்றும், இத்திரவத்தின் செறிவு $d$ என்றும் கொண்டால் இந்த இறுக்க வேற்றுமை $hgd$ ஆகும். த என்னும் புள்ளியினிறுக்கம் ப வன இறுக்கமாகிய $H$ ஆகும். எனவே ரிக-வோடு இணைக்கப்பட்ட கலத்தி



படம் 140

னுள்ளே அடைபட்டிருக்கும் வாயுவின் இறுக்கம், H + $hgd$ ஆகும். இந்த இறுக்கம் பவன இறுக்கத்தை விடக் குறைவுபட்டதானால், த-வின் மட்டம் கீழேயும் ப-வின் மட்டம் மேலேயும் இருக்கும். அப்போது இறுக்கம் (H—$hgd$) என்னும் வாய்பாட்டினுல் பெறப் படும். இதிலே H என்பது டைன்களிலே குறிக்கப் பட்டிருப்பதாகக் கொள்ளவேண்டும். பவன இறுக் கத்தை ரசநிரையின் நீளத்தினுலே குறித்தால் இந்த வாய்பாடு $\left[ H \pm \frac{hd}{13 \cdot 6} \right]$ என மாறுதலடையும்.

தாழிறுக்கமானி (The Barometer gauge) :— இது மிகத் தாழ்ந்த இறுக்கங்களை அளப்பதற்காகச் செய்யப்பட்டது. இதில் நீண்ட மெல்லிய ஸநி என்னு மொரு கண்ணுடிக் குழாய் இருக் கிறது. (படம் 141). இதன் நீளம் பவன-இறுக்க உயரத்தைவிட அதிக மானது. இதன் இரு முனைகளும் திறந்தே இருக்கும். நி என்னும் இதன் ஒரு முனை பாதரசம் நிரம்பிய கிண்ணத்திலே முழுகி இருக்கும். ஸ என்னும் முனை, இறுக்கத்தை அள விடவேண்டிய வாயுவைக் கொண்டி ருக்கும் கலத்தோடு இணைக்கப்பட்டி ருக்கும். இந்தக் குழாய் எப்போதும் நிமிர்வையாகவே நிற்கவேண்டும். நாம் அளக்கவேண்டிய இறுக்கம் பவன இறுக்கத்தைவிடச் சிறியதானால், கிண்ணத்திலுள்ள பாதரசத்தின் பரப் பின்மீது தொழிற்படும் பவன இறுக் கத்தினுலே குழாயினுள்ளே பாதரசம் மேலே ஏறி நிற்கும். இவ்வாறு ஏறிநிற்கும் ரசநிரையின்



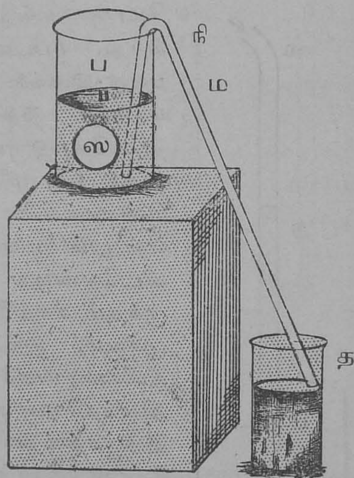
படம் 141

இறுக்கத்தைப் பவன இறுக்கத்திலிருந்து கழிக்க, அடைபட்டிருக்கும் வாயுவின் இறுக்கம் கிடைக்கும். அளக்க வேண்டிய இறுக்கம் மிகச் சிறியதானல் ரசநிரையின் நீளம் பவன இறுக்க உயரத்திற்குச் சற்றே குறைந்திருக்கும்.

## நீரியல் யந்திரங்கள்

அங்குசநாளி (Syphon) :–இது பவன இறுக்கத்தினுதவியால் வேலைசெய்கிறது. திரவம் நிரம்பியுள்ளதொரு கலத்தைச் சற்றும் அசைக்காமல், அதிலுள்ள திரவத்தையெல்லாம் இக்கருவியினுதவியால் வெளிப்படுத்திவிடலாம். (படம் 142).

இது இரு முனையும் திறந்த ஸ நித என்னும் வளைந்ததொரு குழாயாகும். இதன் ஒரு கிளை மற்றொரு கிளையைவிடக் குட்டையானது. இக்குழாயினுள்ளே நாம் வெளியேற்றப் போவதாகிய திரவத்தை முற்றிலும் நிரப்பி, இரண்டு முனைகளையும் விரல்களால் மூடிக்கொண்டு, இதைக் கவிழ்த்துக் குட்டையான கிளையின் நுனியைக் கலத்திலுள்ள திரவத்தினுள் அழுத்திப் பிடித்துக்கொண்டு மூடி நிற்கும் விரல்களை நீக்கிவிடவேண்டும். உடனே இக்குழாயின் வழியாகத் திர

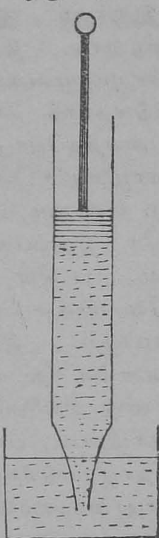


படம் 142

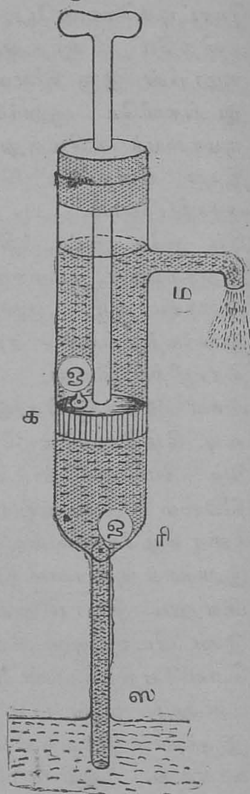
வம் இடைவிடாமல் வெளிவந்து ஒரே தாரையாகக் கொட்டிக்கொண்டே இருக்கும். இதன் செய்கையை எளிதிலே விவரித்துவிடலாம். திரவத்தின் மட்டம் குழாயின் இரு கிளைகளையும் முறையே ப, ம என்னும் இடங்களிலே குறுக்கிடுவதாகக் கொள்வோம். இக் குழாயைக் கவிழ்த்து வைத்தபோது ம த என்னும் திரவ நிரைமீது தொழிற்பட்ட சக்திகளைச் சற்று விசாரிப்போம். ப, ம என்னும் புள்ளிகள் திரவத்தில் ஒரே மட்டத்திலே இருப்பதால் அவற்றின் இறுக்கங்கள் சமமாகும். ப-வின் இறுக்கம் பவன இறுக்கமாகும். எனவே ம-வின் இறுக்கமும் பவன இறுக்கத்திற்குச் சமமாகும். இது கீழ்நோக்கித் தொழிற்படுகிறது. எனவே த என்ற புள்ளியிலே பவன இறுக்கத்தோடு ம த என்னும் திரவ நிரையும் கூடி கீழ்நோக்கித் தொழிற்பட, பவன இறுக்கம் மட்டும் மேனோக்கித் தொழிற்படுகிறது. இங்கே சமநிலைமை ஏற்படமுடியாதாகையால் ம த என்னும் திரவ நிரை கீழ்நோக்கி விழுகிறது. இதனால் ம-விலேற்படும் இறுக்கக் குறைவை நிவர்த்தி செய்வதற்காகத் திரவம் பின்னும் குழாயினுள் தள்ளப்படுகிறது. இவ்வாறாக இடைவிடாத ஒரு திரவதாரை இந்தக் குழாய்வழியாக வெளியேறிக்கொண்டே இருக்கிறது. இதிலிருந்து த என்னும் முனை ப ம என்னும் மட்டத்திற்கு மேலே இருந்தால் இக்கருவி வேலை செய்யாது என்பது தெளிவாகிறது. இதிலிருந்தே நி ப என்னும் பகுதியின் நீளம் பவன இறுக்க உயரத்தைவிடக் குறைவாகவே இருக்கவேண்டுமென்பதும் புலப்படுகிறது.

பீச்சாங்குழல் (Syringe) :—(படம் 143). நீர் இறைப்பதற்கு இதுவே மிக எளிய சாதனம். இதிலே ஒரு குழலும், அதனுள்ளே இறுக்கமாகத் தொழிற்படும் ஒரு பீச்சானும் இருக்கின்றன. இவ்வுருளையின்

அடிமுனை கூராக ஒரு தூம்பிலே முடிவடைகிறது. இம்முனையை நீரிலே அமிழ்த்திப் பீச்சானை மேனோக்கி இழுப்பதாகக் கொள்வோம். இப்பீச்சானின் அடியிலே காற்றின் இறுக்கம் குறைவுபடும். எனவே, நீர்ப்பரப்பின்மீது தொழிற்படும் பவன இறுக்கம் தூம்பின் வழியாகத் திரவத்தை உள்ளே செலுத்தும். இதனால் பீச்சான் மேலேறும்போது அதனடியிலே தண்ணீர் நிரம்பிவரும். இப்போது இக்குழலை நாம் வெளியே எடுத்துப் பீச்சானை உள்ளே அமுத்தினால் தண்ணீர் பீரிட்டு வெளியே பாயும்.



படம் 143




படம் 144

## நீர் இறைவிகள்

சாமானிய இறைவி :—(படம் 144). படத்தில் கண்டிருப்பது பண்டைக் காலந் தொட்டே தண்ணீர் இறைப்பதற்காக உபயோகிக்கப்படும் ஓர் சாதனமாகும். இதிலே ஒரு குழலும் அதனுள்ளே தொழிற்

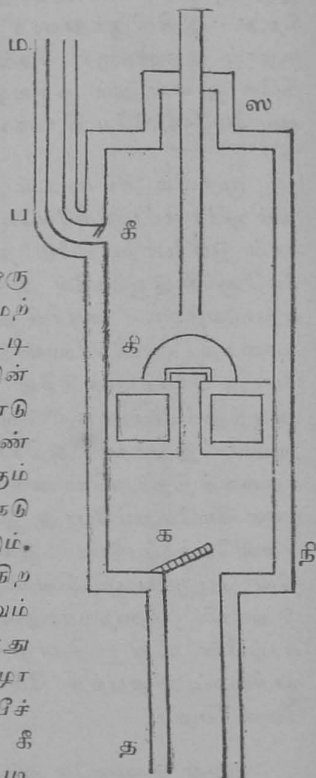
படும் க என்னும் பீச்சானும் இருக்கின்றன. இந்தப் பீச்சானின் பீடத்திலே ஒ என்னும் ஒருவழிக்கதவு இருக்கிறது. இது மேனோக்கி மட்டுமே திறக்கக்கூடும். பீச்சானுக்கு மேலே குழலில் ம என்னும் தூம்பு இருக்கிறது. ஸ என்பது நீர் மட்டத்தைக் குறிக்கிறது. இதிலிருந்து ஸ ரீ என்னுமொரு நிமிர்வையான குழாய் குழலுக்குச் செல்லுகிறது. ரீ என்னுமிடத்திலே ஒ என்னும் ஒருவழிக்கதவு இருக்கிறது. இதுவும் மேனோக்கியே திறக்கக்கூடும்.

முதலில் நீர் மட்டம் குழாயின் அகத்தும் புறத்தும் ஒரே மட்டத்திலேயே நிற்கும். க என்னும் பீச்சான் இப்போது கீழே தாழ்ந்து இருக்கும். இதை மேனோக்கி இழுக்கவே அதனடியில் இறுக்கக் குறைவு ஏற்படுவதால், குழாயிலுள்ள காற்று ஒ என்னும் கதவைத் தள்ளிக்கொண்டு உருளையினுட்புகும். இப்போது பீச்சானைக் கீழே அழுத்தவும். இவ்வாறு அழுத்தும்போது க, ரீ-க்கு இடைப்பட்ட காற்று சுருங்கி அதன் இறுக்கம் அதிகரிக்கவே, அது ஒ என்னும் கதவைத் திறந்துகொண்டு மேலேறும். மறுபடியும் பீச்சான் மேலேறும்போது இக்காற்று தூம்பின் வழியாக வெளியேற்றப்படும். இவ்வாறு ஸரீ யிலுள்ள காற்றின் பெரும்பகுதி வெளியேறிவிடவே, அவ்விடத்தில் இறுக்கம் குறைவதாலும், பவன இறுக்கம் நீர்ப் பரப்பின் மீது தொழிற்படுவதாலும், தண்ணீரும் காற்றைப் பின்பற்றி மேலேறித் தூம்பின் வழியாக வெளியேறும்.

பவன இறுக்கமே இவ்வாறு தண்ணீரை மேலேற்றுகிறது. ஆனால் பவன இறுக்கம் 34 அடி நீளமுள்ள நீர் நிரையைமட்டுமே தாங்கக்கூடியது. இதனாலும் இதில் ஏற்படக்கூடிய ஒழுக்கு, கதவுகளின் எடை,

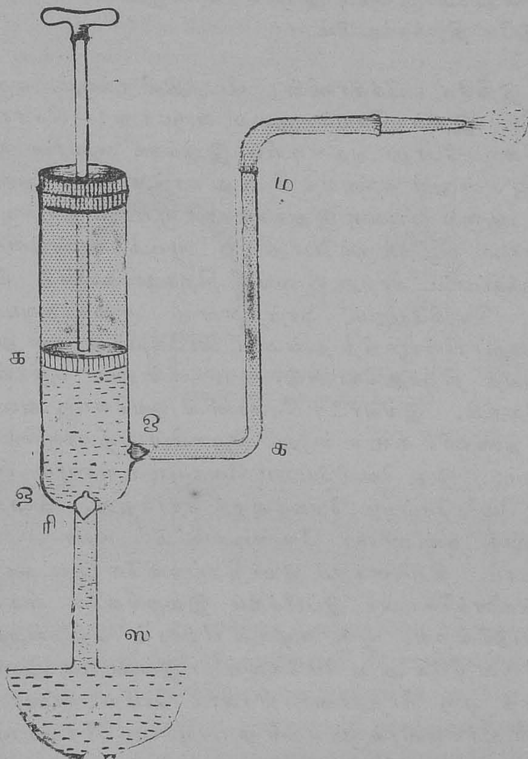
ஆகிய குறைகளினாலும், இச்சாதனத்தால் தண்ணீரை சுமார் 28 அடி உயரமே மேலேற்ற முடியும்.

தூக்கும் இறைவி (Lift Pump) :- இது முற்கூறிய இறைவியின் ஒருவகையேயாகும். படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 145). இதில் தாம்பு மட்டும் இல்லை. மற்ற அங்கங்களோடு உருளையின் மூடியிலிருந்து பம என்னுமொரு குழாய் நீர் நிரம்பவேண்டிய இடத்துக்குச் செல்லுகிறது. இதன் வாயிலிலே கீ என்னும் மற்றொரு கதவு இருக்கிறது. இது மேற்புறம் மட்டுமே திறக்கக்கூடியது. பிச்சான் தன் பீடத்தின் மீது ஏறியுள்ள நீரோடு மேலேறும்போது, அத்தண்ணீர் உருளையின் மூடிக்கும் பிச்சானின் பீடத்துக்கும் நடுவிலே வைத்து நெருக்கப்படும். கி என்னும் கதவோ வழிதிறவாது. எனவே கீ என்னும் கதவைத் தள்ளித் திறந்து கொண்டு பம என்னும் குழாயினுள்ளே ஏறிவிடும். பிச்சான் கிழிறங்கும்போது கீ மூடிக்கொண்டுவிடும். மறுபடியும் பிச்சான் மேலே வரும்போது மற்றொரு திரவப் பகுதி பம என்னும் குழாயினுள் தள்ளப்படும். இவ்



படம் 145

வாறே பம என்னும் குழாய் வழியாகத் தண்ணீரெல்லாம் வெளியேற்றப்படும்.




படம் 146

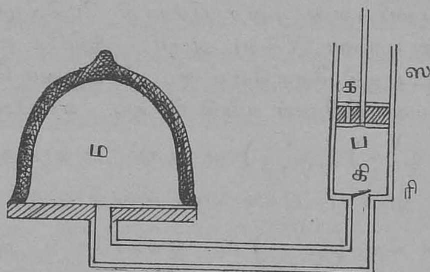
பீச்சும் இறைவி (Force Pump) :—(படம் 146). இதுவும் சாமானிய நீர் இறைவியைப் போன்றதேயாகும். ஆனால் தூம்பு பீச்சானிற்குக் கீழே குழலில்

பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இதனோடு க ம என்னும் குழாய் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதன் வாயிலும் ஓ என்னுமொரு கதவு இருக்கிறது. இது வெளிப்புறம் மட்டுமே திறக்கக்கூடும்.

இதிலே பீச்சானின் பீடத்திலிருக்கும் கதவு இல்லை. இதன் செயல் முறை வருமாறு:—பீச்சான் மேலெழும்போது அதனடியில் இறுக்கக் குறைவு ஏற்பட ஓ என்னும் கதவைத் திறந்து காற்று உள் நுழையும். ஆனால் ஓ பவன இறுக்கத்தால் மூடியே இருக்கும். பீச்சான் கீழிறங்கும்போது ஓ மூடிக்கொண்டுவிட, நெருக்கப்பட்ட காற்று ஓ வைத் திறந்துகொண்டு பீரலாய் வெளியேறும். காற்றினளவு குறைந்தவுடன் காற்றைப் பின்பற்றித் தண்ணீர் மேலேறி, ஓ என்னும் கதவைத் திறந்துகொண்டு, க ம என்னும் குழாயில் மேலேறும். இவ்வாறே பீச்சானின் ஒவ்வொரு அடியிலும் தண்ணீர் க ம என்னும் குழாயின் வழியாக வெளியேறும். இது வெளியேறும் வேகமும் உயரமும் பீச்சான் வேலைசெய்யும் வேகத்தைச் சார்ந்தது. இதைக் கொண்டு தண்ணீரை வேண்டியமட்டும் உயர ஏற்றிவிடலாம். தீயணைக்கும் இயந்திரங்களிலே இரட்டைக் குழல்களைக்கொண்ட இப்பீச்சும் இறைவிகளே கையாளப் படுகின்றன. ஒரு குழலில் பீச்சான் கீழிறங்கும். மற்றொன்றிலே அது மேலேறும். இவ்வாறாக இடைவிடாத ஒரு நீர்த்தாரை பீரலாக பெரிய கட்டிடங்களின் உச்சிவரைக்கும் சென்று பாயும்படி செய்யப்படுகிறது.

காற்று இறைவிகள்:—ஒரு கலத்தினுள்ளிருக்கும் காற்றை வெளியேற்றுவதற்குரிய கருவியே காற்று இறைவி எனப்படும். இதில் ஸரீ என்ற குழலினுள் காற்றிறுக்கமாக ப என்னும் ஒரு பீச்சான் தொழிற்

படுகிறது. (படம் 147). பீச்சானின் பீடத்திலே க என்ற ஒருவழிக் கதவு இருக்கிறது. இது மேனோக்கி மட்டுமே திறக்கக்கூடியது. இந்தக் குழலின் அடியிலே ஒரு குழாய் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதன் வாயும் கி என்ற மற்றொரு கதவினால் மூடப்பட்டிருக்கிறது. இது குழலை நோக்கி மட்டுமே திறக்கக்கூடும். இக்




படம் **147**

குழாயின் மறு முனையிலே ம என்ற ஒரு கூண்டு இருக்கிறது. இக்கூண்டிலுள்ள காற்றே வெளியேற்றப் படுவதாகும். இதுவும் நீர் இறைவியைப் போலவே தொழிற்படுகிறது.

பீச்சான் $n$ தடவைகள் அடித்தான பிறகு கூண்டிலுள்ள காற்றின் இறுக்கத்தை நாம் கணக்கிடலாம். கூண்டினது பருமையும், அதிலிருந்து உருளைக்குச் செல்லும் குழாயினது பருமையும் சேர்ந்து V என்று கொள்வோம். பீச்சான் முற்றிலும் தூக்கப்பட்டபோது உருளையினுட்புறத்தின் பருமை $v$ என்று கொள்வோம். பீச்சான் அடியிலிருந்து மேலே தூக்கப்படுவதற்கு முன் கருவியினுள்ளிருக்கும் காற்றினது பருமை V ஆகும். இதன் நிறை $m$ என்று கொள்வோம். பீச்சான் முற்றிலும் மேலே தூக்கப்பட்ட பிறகு இப்

பருமை V + $v$ ஆகிறது. பீச்சான் கீழிறங்கும்போது இக்காற்றிலே $v$ பருமை கொண்ட பகுதி வெளியேறி விட, V பருமை கொண்ட பகுதி எஞ்சி நிற்கும். எனவே ஒரு அடி முடிந்தவுடன் கருவியினுள் மிகுந்திருக்கும் காற்றின் நிறை $\left(\frac{V}{V+v}\right)m$ ஆகும்.

இரண்டாவது முறை பீச்சான் மேலெழும்போது காற்றின் பருமை $(V+v)$ ஆகும். இதிலே $v$ பருமை கொண்ட பகுதி வெளியேறி விட, V பருமை கொண்ட பகுதியே கருவியினுள் எஞ்சி நிற்கும். எனவே, இதன் நிறை $\left(\frac{V}{V+v}\right)\left(\frac{V}{V+v}\right)m$ ஆகும். அதாவது இரண்டாவது அடிக்குப் பிறகு கருவியினுள் எஞ்சி நிற்கும் காற்றின் நிறை $\left(\frac{V}{V+v}\right)^2 m$. இவ்வாறே $n$ அடிகளுக்குப் பின் எஞ்சி நிற்பது $\left(\frac{V}{V+v}\right)^n m$ நிறை கொண்ட காற்றாகும் என்று காட்டலாம். எனவே காற்றினது இறுக்கமும் இதே விகிதத்திலே குறைவு பட்டிருக்கும். எனவே முன்னும் பின்னும் இறுக்கங்கள் முறையே $P_1$, $P_n$ ஆனல் அவற்றின் தகவாகிய

$$\frac{P_n}{P_1} = \frac{(V/V+v)^n m}{m} = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n$$ ஆகும்.

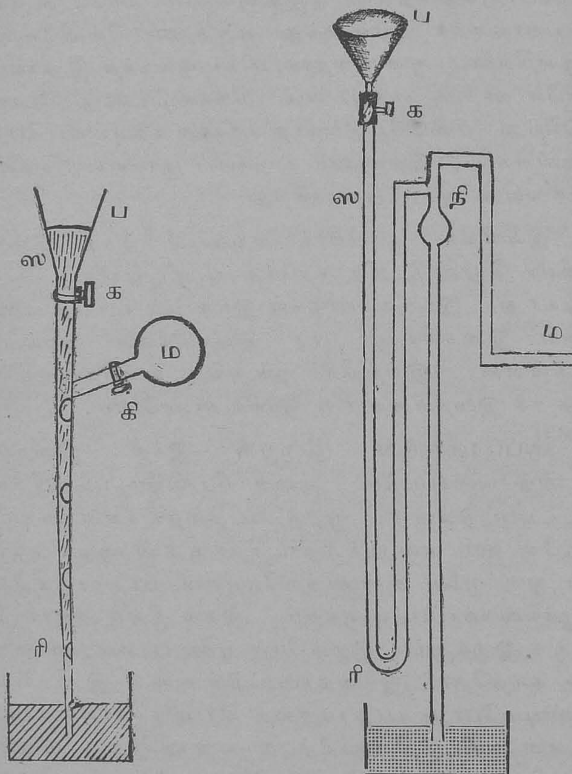
இவ்வாய்பாட்டின்படி $n$-ஐ வேண்டியவரை அதிகரித்து, காற்றின் இறுக்கத்தை நாம் விரும்பிய அளவுக்குக் குறைத்து விடக்கூடும். ஆனல் இக்கருவியிலே பல குறைபாடுகள் இருப்பதால், மிகக்குறைந்த இறுக்கங்களை இக்கருவியினுதவியால் பெற முடிவதில்லை. இக்குறைபாடுகள் வருமாறு:— முதலில் பீச்சான் முற்றிலும் காற்றிறுக்கமாக (air tight) இருக்க முடியாது. அவ்வாறே கதவுகளும் காற்றிறுக்கமாக இருப்பதில்லை.

இவற்றினால் ஒழுக்கு ஏற்படுகிறது. இவ்வொழுக்குகளின் விளைவு மிகக் குறைந்த இறுக்கங்களிலே நன்றாக புலப்படும். இரண்டாவதாக, பிச்சானின் பீடம் குழலின் பீடத்தோடு முற்றிலும் காற்று இடையே புகக் கூடாதபடி பொருந்துவதில்லை. இதனால் நாம் மேலே கூறியபடி, காற்றைக் குழலிருந்து முற்றிலும் வெளியேற்ற முடிவதில்லை. மூன்றாவதாக, மிகக் குறைந்த இறுக்கங்களிலே காற்று கதவுகளைத் திறக்கமுடியாது போய் விடுகிறது. எடையே இல்லாத லேசான கதவுகளைப் பெற முடிவதில்லை; இதனாலும் காற்றைப் பூரணமாக வெளியேற்றுவது அசாத்தியமாகிறது.

இவ்விதக் குறைபாடுகளையுடைய இந்த இறைவியைக் கொண்டு மிக உயர்ந்த பாழிடங்களைப் பெற முடியாது. இக்குறைபாடுகள் இல்லாமல் பலவித எண்ணெய் இறைவிகளும் ரச இறைவிகளும் இயற்றப் பட்டுள்ளன. இவற்றில் ஒன்றாகிய ஸ்பிரெஞ்சலின் பாதரச இறைவியை நாம் இனிக் காண்போம்.

ஸ்பிரேஞ்சலின் இறைவி :—இந்த இறைவி இரண்டு வகைப்படும். அவை யிரண்டும் படத்திலே காட்டப்பட்டுள்ளன. முதல் படத்தைக் கவனிக்கவும். இதிலே ஸரி என்னும் நீண்டதொரு கண்ணாடிக் குழாயின் ஒரு முனை கிண்ணத்திலேயுள்ள பாதரசத்திலே முழுக்கிவைக்கப்பட்டிருக்கும். இதன் நீளம் சுமார் 1 மீட்டர். இருக்கும். இதன்மேல் முனை ப என்னும் ஒரு சிறு கலத்தோடு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதிலே வேண்டியபோது பாதரசத்தை நிரப்பிக்கொள்ளலாம். ஸ என்னுமிடத்திற்குக்கீழ் க என்னுமொரு கவ்வி இருக்கிறது. இதன் கீழே ஒரு கிளைக்குழாய் வந்து சேருகிறது. இக்குழாய் காற்றை இறைக்க வேண்டிய ம என்னும் கலத்தோடு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தக் கிளைக் குழாயிலும் கி என்னுமொரு கவ்வி இருக்கிறது. இந்த

இறைவியின் செயல் முறை வருமாறு:—கி-ஐ மூடி வைத்து க-வைத் தளர்த்திவிடவும். ஒரு ரசதாரை தன் முன்னே காற்றைத் தள்ளிக்கொண்டு குழாயின் வழியே கீழிறங்கி வந்து குழாய் முழுவதையும் நிரப்பிவிடும்.




படம் **148** (1)

படம் **148** (2)

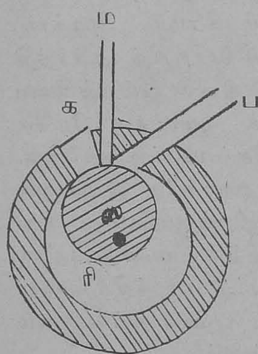
க-வை மூடிவிடவும். பவன இறுக்க உயரங்கொண்ட ரசநிரைமட்டும் குழாயில் தங்கும். அதற்கு மேலே

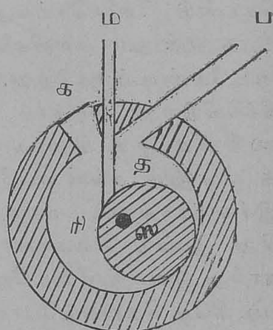
ஒரு பாழிடம் ஏற்படும். இப்போது கி-ஐத் திறந்து விடவும். ம-விலுள்ள காற்றுப்பெருகிப் பாழிடத்தை நிரப்பும். அதன் இறுக்கமும் குறைவுபடும். இப்போது கி-ஐ மூடி க-வைத் திறந்துவிடவும். ஒரு ரசதாரை காற்றைத் தன் முன்னாலே தள்ளிக்கொண்டு கீழிறங்கும். க-வைமூடவே பவன-இறுக்க உயரத்திற்கு மேற்பட்ட இடம் மறுபடியும் பாழாகும். மறுபடியும் க-வை மூடிவிட்டு கி-ஐத் திறந்துவிட, ம-வில் உள்ள காற்றுப் பெருகி, அதனால் இறுக்கம் குறைந்து அப்பாழிடத்தை நிரப்பும். இப்போது கி-ஐ மூடி க-வைத் திறந்து, இப்பாழிடத்தில் நிரம்பிய காற்றின் பகுதியை வெளி யேற்றிவிடலாம். இவ்வாறு பன்முறை செய்து ம-வில் உள்ள காற்றினது இறுக்கத்தை வேண்டிய வரை குறைத்துவிடலாம். ஆனால் இந்த இறைவியைக் கொண்டு வேலைசெய்வது மிகவும் சிரமம். அடிக்கடி கி, க என்னும் கவ்விகளை மாற்றி மாற்றித் தளர்த்தி மூடவேண்டியிருக்கிறது. இதனால் கி என்னும் கவ்வியை நீக்கிவிடுவது வழக்கம். கிளைக் குழாய்க்கு மேலே ஸ ரி யில் ஒரு சிறு சுருக்கம் செய்யப்பட்டிருக்கிறது. க என்னும் கவ்வி எப்போதும் தளர்ந்தே இருக்கும். இச்சுருக்கத்தால் பாதரசம் கீழிறங்கும்போது சிறு சிறு துண்டு நிரைகளாக ஆகிவிடும். ம-வில் உள்ள காற்று இவற்றினிடையே அகப்பட்டு படத்தில் கண்ட படி கீழே கொண்டுபோகப்படும். ப-வை எப்போதும் பாதரசத்தால் நிரப்பிவைக்கவேண்டும்.

மற்றொரு வகையிலே படத்தில் கண்டபடி (படம் 148 (2)) ஸ ரி என்னும் குழாய் ஸ ரி நி என்றவாறு வளைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் இறைவியின் திறமை அதிகரிக்கிறது.

'ஹைவாக்' இறைவி (Hyvac Pump):— நவீன இறைவிகளிலே இது மிகச் சிறந்தது. மின்னு

ருத்தாழ், X-கிரணக் குழாய்கள், தழல் விளக்குகள் முதலியவற்றிலே உயர்ந்த 'பாழ்மை' (Vacuum) உண்டாக்குவதற்கு இது கையாளப்படுகிறது. ஸ என்பது ஒரு சுழலி (rotor). இது ஒரு அச்சின் மீது ஒதுங்கு மையமாக (eccentrically) ஏற்பட்டிருக்கிறது. இந்த அச்சு சுழலியைச் சூழ்ந்து நிற்கும் உருளை வடிவான பெட்டியின் இருசாகும். (படம் 149). ம என்பது ஒரு தகடு. இது தனக்கு மேலேயுள்ள வில்லினாலே சுழலியின் விளிம்பு மீது அழுத்தி உதைந்து கொண்டிருக்கிறது. காற்றை வெளியேற்ற வேண்டிய கலம் ப என்னும் புகுவாயினோடு (inlet) இணைக்கப்படும். க என்பது புறவாயில் ஒருவழிக் கதவு (outlet valve).

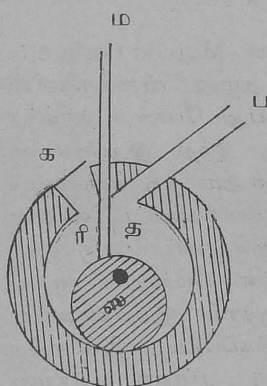


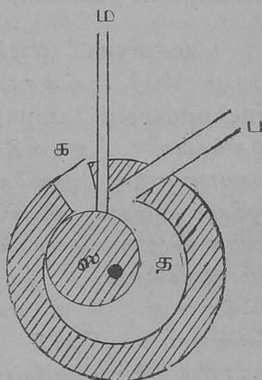




(1) படம் 149 (2)

சுழலி (1) என்ற படத்தில் கண்ட நிலையிலிருக்கும் போது, ரி என்னும் இடைவெளி முழுவதும் காற்றை வெளியேற்ற வேண்டிய கலத்தோடு இணைந்திருக்கிறது. (2) என்ற படத்தில் காணப்படும் நிலையை யடையும் போது, ரி என்ற இடைவெளிப் புகுவாயினின்று பிரித்

துச் சிறிது சுருக்கப்பட்டுவிட்டது. இதற்குப் பதிலாக த என்ற ஒரு இடைவெளி புகுவாயினருகே ஏற்பட்டிருக்கிறது. (3) என்ற நிலையிலே ரீ என்னும் இடைவெளி பின்னும் சுருங்கிவிட த என்ற இடைவெளி பெருகிவிட்டது. (4) என்ற நான்காவது நிலையிலே ரீ மிகவும் சுருங்கிவிடுவதால், அதனுள் அகப்பட்ட காற்றின் இறுக்கம் அதிகரித்து, க என்ற கதவைத் திறந்து கொண்டு அது வெளியேறி விடுகிறது. சுழலி மற்றொரு சுற்றுச் சுற்றும்போது த என்ற இடைவெளியிலகப்பட்ட காற்றுக்கும் இதே கதி நேரிடுகிறது. இத்தகைய சுழற்சி அடுத்தடுத்தும் நிகழ்வதால், புகுவாயினோடு இணைக்கப்பட்டுள்ள காற்றெல்




(3) படம் 149 (4)

லாம் படிப்படியாக வெளியேற்றப்பட்டு அதன் இறுக்கம் குன்றிவிடுகிறது.

சாமானியமாய் இரண்டு உருளைகள் தொடர்ந்து இணைக்கப்படும். ஒன்றிலே பவன இறுக்கத்தினின்று

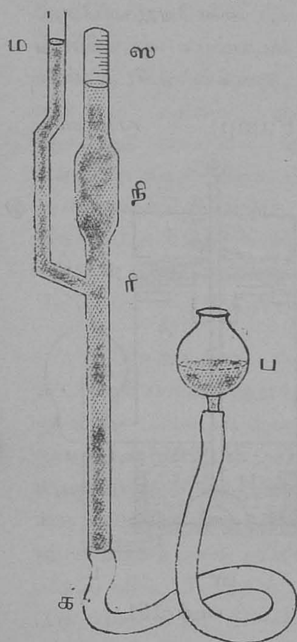
பாதியளவிற்குக் குறைக்கப்படும். மற்றொன்று வேண்டிய அளவிற்குக் குறைத்துவிடும்.

இரண்டு சுழலிகளும் ஒரே அச்சின் மீது ஏற்பட்டுள்ளன. இவையெல்லாம் எண்ணெய் நிரம்பியுள்ளதொரு வார்ப்பிரும்புப் பெட்டி (cast iron box) யினுள்ளே வைக்கப்பட்டிருக்கும். இதனால் காற்று ஒழுகுவது தவிர்க்கப்படுகிறது.

ஒரு மின்சார மோட்டாரைக்கொண்டு இது சுழற்றப்படும். இத்தகைய இறைவி யொன்றைக் கொண்டு சில நிமிஷங்களிலே பவன இறுக்கத்திலிருந்து X-கதிர் குழாய்களுக்கு (X-ray tubes) வேண்டிய பாழ்மையைப் பெறக்கூடும்.

'மேக்ளியாட்' இறுக்கமானி (Mcleod Gauge):- (படம் 150). மின்சாரத் தழல் விலக்குகளிலி (incandescent lamps) ருப்பது போன்ற தாழ்ந்த இறுக்கங்களை அளவிடுவதற்கு இந்த இறுக்கமானி கையாளப்படும். இதிலே நி என்னும் ஒரு கண்ணாடிக் குமிழும், அதன் தலையிலே இணைக்கப்பட்ட ஸ என்னும் மற்றொரு சன்னமான புழைகொண்டதொரு குழாயும் இருக்கிறது. இக்குழாயின் மேல்முனை மூடப்பட்டுள்ளது. ரி ம என்ற குழாய் இறுக்கமளவிட வேண்டிய கலத்தோடு இணைக்கப்படும். ரி க என்ற குழாயின் கீழ்முனையோடு ஒரு ரப்பர்க் குழாயும், அதனோடு பாதரசம் நிறைந்ததொரு சிறிய கலயமும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. ரி-க்கு மேலேயுள்ள குழாயின் பருமையும் குமிழின் பருமையும் கூடி V என்று கொள்வோம். இது கருவியியற்றும் போதே அளவிட்டு வைக்கப்படும். அவ்வாறே ஸ-வினுள்ள பிரிவுகளினிடைப்பட்ட பருமையும் அளவிடப்பட்டிருக்கிறது.

மெதுவாக ப என்ற கலயத்தை மேலே தூக்குவோம். பாதரசம் ரீ வரை சென்று ரீஸ என்ற பகுதியைத் தனியே பிரித்து அடைத்துவிடுவதாகக் கொள்வோம். ரீ ஸ வுக்குட்பட்ட காற்றின் பருமை இறக்கங்களின் பெருக்குத்தொகை $pV$ ஆகும். இதிலே $p$ என்பது காற்றின் இறுக்கமாகும். கலயத்தைப் பின்னும் மேலே தூக்கிப் பாதரசம் படத்திலிருக்கும் நிலையை அடைவதாகக் கொள்வோம். இப்போது குழாயினுள்ளே அடைபட்டிருக்கும் காற்றின் பருமை மிகவும் சுருங்கி $v$ என்ற அளவை அடைந்துவிடுகிறது. இரண்டு குழாய்களிலுமுள்ள ரச மட்டங்களின் வேற்றுமை $h$ என்று கொள்வோம். இவ்வாறு பாதரசம் ரி ம என்ற குழாயிலே மேலேறியதால், அதனோடு இணைக்கப்பட்டுள்ள கலத்தினுள்ளடைபட்டிருக்கும் காற்றின் இறுக்கம் அதிகமாக மாறுதலடைந்துவிடாது. எனவே, ஸ என்ற குழாயினுள் அகப்பட்ட காற்றின் இறுக்கம் $p+h$ ஆகும். அதன் பருமை இறக்கங்களின் பெருக்குத்தொகை $(p+h)v$ ஆகும். பாயிலின் விதிப்படி

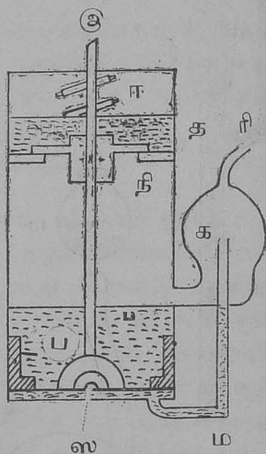



படம் 150

$$pV=(p+h)v \text{ அல்லது } p=\frac{hv}{V-v} \text{ ஆகும்.}$$

V என்ற இராசியை நாம் முன்பே அறிவோம். $v$ என்ற இராசியை ஸ விலே ரசநிரைமட்டம் நிற்குமிடத்தைக் கொண்டு தெரிந்து கொள்ளலாம். $h$ என்ற இராசியை அளவிட்டு விடலாம். எனவே ம-வினேடு இணைக்கப்பட்டு கலத்தினுள்ளடைபட்ட காற்றினது இறுக்கமாகிய $p$-யை எளிதிலே கணக்கிட்டுவிடலாம்.

புளூஸ் இறைவி (Fleuss Pump) :— சாமானிய காற்று-இறைவியினுள்ள சில குறைபாடுகள் படத்திலே (படம் 151) காட்டியுள்ள புளூஸ் இறைவியிலே நீக்கப்பட்டுள்ளன. பீச்சானிலே ஒரு உலோகத்தைச் சூழ்ந்து ஆ என்னும் தோல் பை இருக்கிறது. இதனடியிலே யுள்ள ஸ என்னும் ஒருவழிக் கதவு மேனேக்கி மட்டுமே திறக்கும். இதற்கு மேலேயுள்ள காற்றின் இறுக்கம் தோல் பையின்மீது இறுத்துவதால், அதனிடுக்குகள் காற்றுப் புகாவண்ணம் நெருங்கி இருக்கும்.



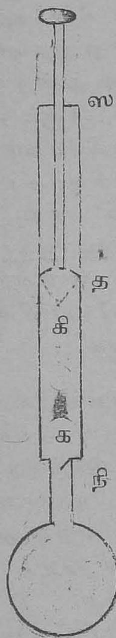
படம் 151

மேலே காற்றிறுக்கம் குறைந்து போகும்போதும், கீழே இறங்கிவிட்ட எண்ணெய் மீண்டும் மேலேற வேண்டியிருக்கும்போதும் மட்டுமே ஸ என்னும் கதவு திறக்கும். பீச்சான் காம்பு மேலேயுள்ள நி என்னும் மற்றெரு கதவின் வழியாகச் செல்லும். இந்தக் கதவு ஈ என்னும் ஒரு வில்லினலே த என்ற விளம்பின் மீது அழுத்தப்பட்டு நிற்கும். இறைக்க வேண்டிய கலம் ரி என்னும் குழாயினேடு இணைக்கப்படும். முதலில் வேலை துவக்கும்போது பீச்சான் அடியில் பாழிடமும் அதன்

மேலே பவன இறுக்கமும் இருப்பதால், பீச்சான் இயங்குவது மிகவும் சிரமமாய் இருக்கும். இதைச் சிறிது நிவர்த்தி செய்வதற்காக ம என்னும் குழாய் நிறுத்தப்பட்டுள்ளது. பீச்சான் மேலே எழும்போது அதற்கு மேலேயுள்ள காற்று, ரி என்ற குழாயினின்று துண்டிக்கப்பட்டு நெருங்கி, இறுக்கம் அதிகரித்து, அதனால் நி என்னும் கதவை திறந்துகொண்டு வெளியேறும். இதனோடு ப என்ற எண்ணெயிலே சிறிதளவு கூட வெளியேறும். பீச்சான் கீழிறங்கும்போது அது $\frac{1}{4}$ அங்குலம் கீழிறங்கும் வரை நி என்ற கதவு மூடுவதில்லை. எனவே, சிறிதளவு எண்ணெயும் நி என்ற கதவின் இடுக்கு வழியாகக் கீழிறங்கி, பீச்சானின் மேலேயுள்ள ப என்ற எண்ணெயோடு கலக்கும்.

நிறைவிகள் :— (படம் 152). பவன இறுக்கத்தை விட அதிகமான இறுக்கத்தோடு காற்றை ஒரு கலத்தினுள்ளே அடைப்பதற்கு இவை கையாளப்படுகின்றன. இவற்றின் காரியம் காற்றை இறைப்பது அல்லாது நிறைப்பது. ஆதலின் இவற்றை இறைவி என்னாது நிறைவி என்றோம். ஸநி என்னும் ஒரு குழலினுள்ளே த என்னும் ஒரு பீச்சான் தொழிற்படுகிறது. இப்பீச்சானின் பீடத்தில் உள்ள கி என்னுமொரு கதவு கீழ் நோக்கியே திறக்கக்கூடும். காற்றை ஏற்றுக் கொள்ள வேண்டிய கலம் இக் குழலோடு மற்றொரு மெல்லிய குழாயினால் இணைக்கப்படும். இக்குழாய் குழலோடு சேரும் வாயிலிலே க என்னும் மற்றொரு கதவு உண்டு. இது வெளிப்புறமாகவே திறக்கக்கூடியது. இதன் செயல் முறை வருமாறு:— பீச்சான் மேலே தூக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். பீச்சானின் கீழே பருமை அதிகரித்து அங்குள்ள காற்றின் இறுக்கம் குறைவுபடும். இதனால் பவன இறுக்கத்தால் கி என்னும் கதவு திறக்கப்பட்டுக் காற்று குழலின் உள்ளே

செல்லும். பீச்சான் கீழே இறங்கும்போது, அதற் கடியிலே பருமை குறைவுபடுவதால் இறுக்கம் அதி கரிக்க, கி மூடிக்கொண்டுவிடும். ஆனால் காற்று க என்னும் கதவைத் திறந்து கொண்டுதான் நிரம்ப வேண்டிய கலத்தி னுள்ளே புகும். பீச்சான் மேலெழும் போது க மூடிக்கொண்டுவிட, கி திறந்து, மறுபடியும் வெளிக் காற்றைக் குழலி னுள்ளே புகவிடும். இவ்வாறு புகுந்த காற்று மறுபடியும் பீச்சான் கீழிறங்கும் போது, காற்று நிரம்ப வேண்டிய கலத்தி னுள்ளே செலுத்தப்படும். இவ்வாறு ஒவ் வொரு தடவையும், பவன இறுக்கத்தையும் குழலின் பருமையாகிய $v$ என்னும் பருமை யையும் கொண்ட காற்று, காற்று நிரம்ப வேண்டிய கலத்தினுள் சென்று நிரம்பும். பவன இறுக்கம் P என்றும், காற்று நிரம்ப வேண்டிய கலத்தின் பருமை V என்றும் கொள்வோம். அந்தக் கலத்திலே முதலில் பவன இறுக்கம் கொண்ட காற்று V என் னும் பருமை கொண்டிருந்தது. முதல் அடிக்குப் பின்னர், பவன இறுக்கமும் $v$ என்னும் பருமையும் கொண்ட காற்று உபரியாக உள் நுழைந்தது. இவையிரண்டும் சேர்ந்து V என்னும் இடத்தை அடைக்கின்றன. இப்போது அதன் இறுக்கம் $P_1$ என்று கொண்டால்



படம் 152

$$P_1 V = (V + v) P \text{ அல்லது}$$

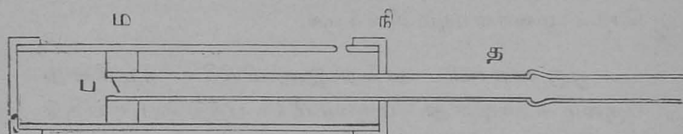
$$P_1 = \frac{(V+v)P}{V} \text{ ஆகும்.}$$

இரண்டாவது அடியின் முடிவிலே பவன இறுக் கத்திலே $(V+2v)$ என்னும் பருமை கொள்ளக் கூடிய

காற்று அதனுள்ளிருக்கும். எனவே அதன் இறுக்கம் $P_2 = \frac{V+2v}{V}$ P ஆகும். இவ்வாறே $n$ அடிகளுக்குப் பின்னர் கலத்திலுள்ள காற்றின் இறுக்கம்,

$$P_n = \left(\frac{V+nv}{V}\right) P$$ ஆகும்.

சைகிள் வண்டிகளின் சக்கரவிளிம்புகளிலேயுள்ள ரப்பர்க் குழாய்களுக்குக் காற்றடிப்பதற்காகக் கையாளப்படும் ஒரு நிறைவியைப் படத்திலே காணலாம். (படம் 153). இதில் ப த என்னும் பீச்சானின் காம்பு




படம் 153

துளை கொண்டதாக இருக்கிறது. இதன் ப என்னும் முனையிலே ஒரு கதவு இருக்கிறது. த என்னுமிடத்திலிருந்து காற்று நிரம்பவேண்டிய குழாய்க்குச் செல்ல மற்றொரு ரப்பர்க்குழாய் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இப்பீச்சான் நகர்ந்து குழலின் மூடியாகிய நி-யோடு மோதும்போது, அங்குள்ள துவாரத்தின் வழியாகக் குழலினுள் காற்று நுழையும். பீச்சான் திரும்பும் போது இத்துவாரம் விலகிவிடுவதாலும், ஓரளவு காற்றுமட்டும் பீச்சானின் பீடத்திற்கும் குழலின் பீடத்திற்கும் இடையே அகப்பட்டு நெருக்கப்படுவதாலும், காற்று ப என்னும் கதவைத் தள்ளித் திறந்து மேலேறிச்சென்று, சக்கரத்தின் குழாயினுள்ளே புகுந்து அங்குள்ள கதவினால் அடைக்கப்படுகிறது.

## வினாக்கள்

1. நீர்தூக்கும் இறைவியின் படமொன்று வரைந்து அதன் செயல் முறையை விவரித்துக் கூறுக.

இதைக்கொண்டு தண்ணீரை தூக்கக்கூடிய தூரம் ஏன் ஒரு வரம்புக்குட்பட்டிருக்கிறது என்பதை விளக்குக.

(அண்ணாமலை செப். 1935)

2. ஒரு காற்று-இறைவியின் அமைப்பையும் செயல் முறையையும் விளக்குக.

ஒரு சாமானிய காற்று-இறைவியிலே குழலினது பருமை கூண்டினது பருமையிலே பத்திலொரு பகுதியாகும். முதலில் கூண்டிலிருந்த காற்று பவன இறுக்கத்தைக் கொண்டிருந்தால், நாலாவது அடிக்குப் பின்னர் கூண்டிஉள்ள காற்றின் இறுக்கம் யாதாக இருக்கும்?

(சென்னை செப். 1931)

3. 'திறந்த வாய் இறுக்கமானி' ஒன்று செய்யும் முறையை விளக்கிக் கூறி அதைக்கொண்டு ஒரு காற்றினது இறுக்கத்தை எவ்வாறு அளவிடலாமென்று காட்டுக.

(மைசூர் 1933)

4. ஏதேனுமொரு காற்று இறைவியின் அமைப்பையும் செயல் முறையையும் படம் வரைந்து விளக்குக.

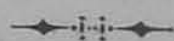
(அண்ணாமலை 1933)

---

# பௌதிக நூல்

## வெப்பவியல்

# அத்தியாயம் 1



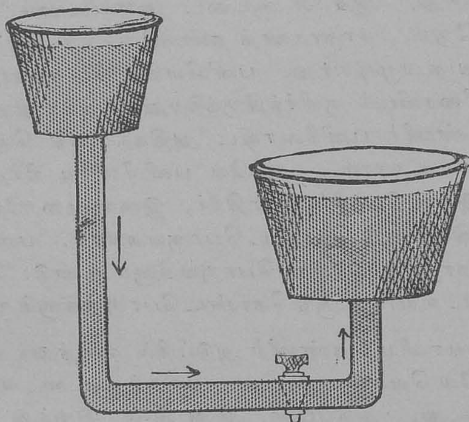
## உஷ்ணநிலைமானியியல் (**Thermometry**)

வெப்பமும் வெப்பநிலையும் (Heat and Temperature):—வெந்நீர் சுடும் என்பதை நாமெல்லோரும் அறிவோம். சாதாரணத் தண்ணீரைவிட அதற்கு ஏதோ விசேஷ குணம் உண்டாகி இருக்கிறது. அதையே நாம் சூடு என்று சொல்லுகிறோம். வெந்நீரிலே இளம் வெந்நீர், கொதிக்கும் வெந்நீர், இவற்றிற்கிடையேயுள்ள பல தர வெந்நீர்கள் எனப் பல வகை யுண்டு. சிலவற்றிலே சூடு அதிகமாகவும், சிலவற்றிலே குறைவாகவும் இருக்கிறது. ஆகவே சூட்டை அளவிடலாம் என்று அறிகிறோம். சாதாரணத் தண்ணீருக்குச் சூடு இல்லையென்று கூறமுடியாது. பனியிளகிய நீர் சாதாரணத் தண்ணீரைவிடக் குளிர்ந்திருக்கிறது. அல்லது சாதாரணத் தண்ணீர் பனிநீரைவிட அதிகச் சூடு கொண்டதென்று கூறலாம். ஆகவே பனியிளகிய நீர், தண்ணீர், இளம் வெந்நீர், கொதிநீர், இவை முறையே வரவர அதிகச் சூடு கொண்ட பொருள்களாம். பனிநீரைவிடத் தாழ்ந்த சூடுள்ள பொருள்களும் உண்டு. கொதிநீரைவிட உயர்ந்த சூடு கொண்ட பொருள்களும் உண்டு.

சாமானியத் தண்ணீர் அடுப்பில் வைத்துக் காய்ச்சப்படவே வெந்நீர் ஆயிற்று. அதிகச் சூட்டை ஏற்றுக்கொண்டது. அடுப்பின் அனலில் இருந்து வெப்பம் தண்ணீரில் சேர்ந்ததே இதற்குக் காரணம் என்று சொல்லப்படும். வெப்பம் ஏற ஏற சூடும் அதிகமாகிறது. எனவே சூட்டிற்குக் காரணம் வெப்பம் என்றாகிறது. வெப்பம் அதிகச் சூடுள்ள பொருள்களிடமிருந்து குறைந்த சூடுள்ள பொருள்களுக்குப் பரவும். நாம் ஒரு பொருளைத் தொடும்போது, வெப்பம் அப்

பொருளிலிருந்து நமது கையில் பரவினுல், அப்பொருள் சூடாகவிருக்கிறது என்று சொல்லுகிறோம். நமது கையிலிருந்து வெப்பம் அப்பொருளில் பரவினுல் அது குளிர்ந்திருக்கிறது என்று சொல்லுகிறோம். வெப்பம் பரவும் திசையை நிர்ணயிப்பது சூடேயாகும். இந்த உண்மையைக் கொண்டே சூட்டின் இலக்கணம் கூறப் படுகிறது.

ஒரு பொருள் மற்றொரு பொருளைத் தொடும்படி வைத்தபொழுது வெப்பம் முதல் பொருளிலிருந்து இரண்டாவது பொருளுக்குப் பரவினுல், முதல் பொருள் இரண்டாவது பொருளைவிட உயர்ந்த சூடு கொண்டதெனச் சொல்லப்படும்.



படம் 154

சிறிதும் பெரிதுமான இரண்டு தொட்டிகளை வெவ்வேறு மட்டங்களில் வைத்து, அவற்றை நீரால் நிரப்பி, அவ்விரண்டையும் ஒரு குழாயினுல் ஒன்று சேர்த்தால், நீர்மட்டம் உயர்ந்த தொட்டியிலிருந்து நீர்மட்டம்

தாழ்ந்த தொட்டிக்குத் தண்ணீர் ஓடுவதை நாமறிவோம். (படம் 154). நீரோடும் திசை தொட்டிகளிலுள்ள தண்ணீரின் அளவைப் பொறுத்திருக்கவில்லை என்பதையும், தொட்டிகளை மாற்றி வெவ்வேறு மட்டங்களில் வைத்துப் பரிசோதித்துத் தெரிந்து கொள்ளலாம். வெப்பத்தை நீருக்கு ஒப்பிட்டால் வெப்பநிலை அல்லது சூட்டை நீர்மட்டத்திற்கு ஒப்பிடலாம்.

வெப்ப விளைவுகளும் அவற்றை அளத்தலும் (Effects of heat and measurement of heat):— இரண்டு பொருள்களை எடுத்துக்கொண்டு அவற்றிலே எது உயர்ந்த சூடு கொண்டது என்று அவற்றைத் தொட்டுப்பார்த்துக் கூறிவிடலாம். ஆனால் இது எப்பொழுதும் சரிப்பட்டு வராது. அதிகச் சூட்டையும் அதிகக் குளிரையும் நமது கை பொறுக்கமுடியாது. மற்றும் நமது கையின் உணர்ச்சியை எப்போதும் நம்பமுடியாது. குளிர் நடுக்கும் மார்கழி மாதத்தில் நாம் ஒரே அறையிலுள்ள மர நாற்காலியையும், அதில் அடித்துள்ள இரும்பு ஆணியையும் தொட்டுப் பார்த்தால், இரும்பு ஆணி மரநாற்காலியைவிட அதிகமாகக் குளிர்ந்திருப்பதாக உணர்கிறோம். இரண்டும் ஒரே சூட்டில்தான் இருக்கின்றன. ஆனால் இரும்பு மரத்தைவிட விரைவிலே வெப்பத்தை ஏற்றுக்கொள்ளும் தன்மைகொண்டது. ஆகையால் நமது கையிலிருந்து மரத்தில் பரவும் வெப்பத்தைவிட இரும்பில் பரவும் வெப்பம் அதிகமாயிருக்கிறது. ஆகவே இரும்பு மரத்தைவிடக் குளிர்ந்திருப்பதாகத் தோன்றுகிறது.

மற்றும் நமது கைகளிலொன்றைத் தண்ணீரிலும் மற்றொன்றை வெந்நீரிலும் சிறிது நேரம் வைத்திருந்து, ஒரே சமயத்தில் இரண்டு கைகளையும் இளஞ் சூடான நீரிலே வைத்தால் அந்நீர் முன்னைய கைக்குச் சூடாக

வும், மற்றொரு கைக்குக் குளிர்ந்தும் இருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. ஆகையால் நமது கையின் உணர்ச்சி பொருள்களின் சூட்டை ஒப்பிட்டுப்பார்க்க உபயோகப் படாதென்றறியலாம். எனவே சூட்டை அளப்பதற்கு வேறு முறைகள் கையாளப்படுகின்றன.

ஒரு பொருளுக்கு வெப்பமேற்றுவதால் அப் பொருள் பல மாறுபாடுகளை அடைகிறது. உதாரணமாக திடப்பொருளான பனிக்கட்டி வெப்பமேறுவதால் திரவப் பொருளான நீராகிறது. நீருக்கு வெப்பமேற்றினால் அது வாயுப் பொருளான நீராவியாக மாறுகிறது. இவை போன்ற பல மாறுபாடுகள் வெப்பமேற்றுவதால் நிகழ்கின்றன. அவற்றுள் முக்கியமானவை சில வருமாறு :—

1. அளவை மாறுபாடுகள் (change of dimensions).

2. நிலைமை மாறுபாடு (Change of state).

3. அகத்திசிவு மாறுபாடுகள் (Change in internal stresses).

4. (*a*) மின்னியல் மாறுபாடுகள் (Changes in electrical state).

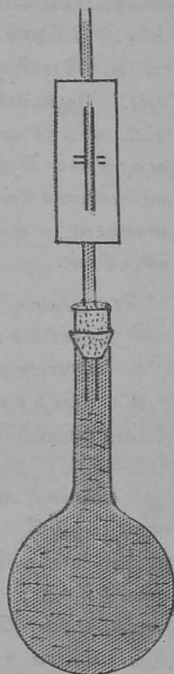
(*b*) காந்தவியல் மாறுபாடுகள் (Changes in magnetic state).

5. இரசாயன மாறுபாடுகள் (Changes in chemical effects).

இவற்றிலே ஏதேனும் ஒரு மாறுபாட்டை அளந்து அதன் மூலமாகச் சூட்டை ஒருவாறு அளக்கலாம். நாம் எடுத்துக்கொள்ளும் மாறுபாடு சூட்டோடு தொடர்ந்து

சீராக நிகழ்வதாயும், அளப்பதற்கு எளிதாயும் இருத்தல் வேண்டும். முதலாவதாகிய அளவை மாறுபாடு, பெரும்பாலும் இந்நிபந்தனைக்குட்படுவதால், அதுவே சூட்டை அளப்பதற்குப் பெரிதும் கையாளப்படுகிறது. சிறுபான்மை, மற்ற மாறுபாடுகளும் விசேஷ சந்தர்ப்பங்களில் இவ்வேலைக்குப் பயன்படுகின்றன.

சூட்டை அளக்கும் கருவிகள் உஷ்ணநிலைமானிகள் (thermometers) எனப்படும். மிகவும் எளிதாக ஒரு உஷ்ணநிலைமானியை அமைக்கும் முறை வருமாறு:—(படம் 155)-ல் கண்டபடி ஒரு கண்ணாடிக் கலயத்தை நீரால் நிரப்பி, ஒரு புழைநாளம் (capillary tube) செருகப்பட்ட தக்கையினால் அதை மூடவும். தண்ணீர் புழைநாளத்தில் சிறிது தூரம் உயர ஏறி நிற்கும். நாளத்தின் பின்புறம் ஒரு தாளை ஒட்டவும். நீர்மட்டம் தெளிவாகத் தெரிவதற்காக ஏதேனும் சாயத்தை நீரிலே கரைக்கவும். இக்கலயத்தை இளஞ்சூட்டு வெந்நீரில் முழுக்கி வைக்கவும். கலயமும் அதனுள்ளே இருக்கும் தண்ணீரும் அகற்சி அடைகின்றன. தண்ணீரின் அகற்சி கண்ணாடியைவிட அதிகமாதலால் அதன் மட்டம் நாளத்தில் மேலேறுகிறது. நீர்மட்டத்தின் நிலையைக் கண்டு கலயம் முழுகியிருக்கும் நீரின் சூட்டை அளக்கலாம். நீரின் சூடு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை அடையும்போது நாளத்தில் நீர்மட்டமும்



படம் 155

அதற்கனுகுணமான குறிப்பிட்ட நிலையை எப்பொழுதும் அடையும். இதிலுள்ள குறைபாடுகளில் ஒன்று இதன் கலயம் பெரியதாயிருப்பதாகும். அது அதிகமான வெப்பத்தை உட்கொண்டுவிடுவதால் அதைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் பொருளின் உண்மையான வெப்பத்தை அளக்கவியலாது. மற்றும் இது அளக்கப்படும் பொருளின் சூட்டை விரைவில் அடைவதில்லை. மேலும் நாளத்தின் மேல்வாய் திறந்திருப்பதால் உள்ளேயிருக்கும் நீர் ஆவியாகிக் குறைந்துவிடுகிறது. ஆகையால் இம்முறை சரியான சூட்டைக் காட்ட வியலாதுபோய்விடும். இக்குறைபாடுகளை நீக்குவதற்காகச் சிறிய உருண்டை வடிவமான குமிழையுடையனவாகவும், நாளத்தின் மேல்வாய் மூடப்பட்டனவுமான உஷ்ணநிலைமானிகளைப் பெரிதும் உபயோகிக்கிருர்கள்.

பொதுவாக பாதரசமும் சாராயமும் உஷ்ணநிலைமானி திரவங்களாக உபயோகிக்கப்படுகின்றன. இவைகளில் பெரும்பாலும் பாதரசமே அதிகமாக பயன்படுகிறது. பாதரசத்தின் மிகவுயர்ந்த கொதிநிலையும் (boiling point 357°c), தாழ்ந்த உறைநிலையும் (freezing point—39°c) இதற்குச் சாதகங்களாக இருக்கின்றன. அது கண்ணடியை நனைப்பதில்லை; அதை நன்ருகப் பார்க்கமுடியும். மேலும் குறைந்த வெப்ப உரிமை (specific heat) கொண்டது. வெப்பத்தை எளிதிலே பரவவிடுகிறது; அதனல் எளிதாகவும் விரைவாகவும் அளக்கப்படும் பொருளின் சூட்டை அடைந்துவிடுகிறது. மற்றும் ரசநிரை மற்ற திரவ நிரைகளைப் போல எளிதில் பிரிவதில்லை.

சாராயத்தின் உறைநிலை (—112°c). துருவப் பிரதேசங்களில் ரசம் உறைந்துபோகக்கூடியதாக ஏற்படும் தாழ்ந்த சூட்டையும் அளக்க இது சாதகமாகிறது.

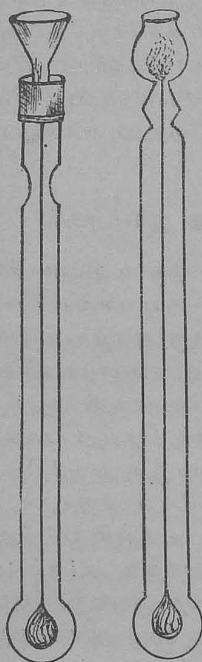
ஆனால் அதன் கொதிநிலை (78°c) மிகத் தாழ்ந்திருக்கிறது. நாளத்தின் சுவரை அது நனைத்துவிடும். அதில் ஏதேனுமொரு சாயத்தைக் கரைத்தாலன்றி திரவமட்டத்தை எளிதில் பார்க்கமுடியாது. ஆனால் அது ரசத்தைப் போல ஐந்து மடங்கு அகற்சி கொண்டதாகையால் மிகச்சிறிய சூட்டு வேற்றுமையையும் எளிதில் கண்டு அளக்கலாம். எனவே உயர்ந்த சூட்டை அளப்பதற்கு ரச உஷ்ணநிலை மானிகளையும் மிகத் தாழ்ந்த சூட்டை அளப்பதற்கு சாராய உஷ்ணநிலை மானிகளையும் உபயோகப்படுத்துவது வழக்கமாகி விட்டது.

## ரசஉஷ்ண நிலைமானி ஒன்று இயற்றுதல்

ஆய்வுச்சாலையில் எளிதிலே ஒரு உஷ்ண நிலை மானி இயற்றும் வகை வருமாறு:—கூடியவரை சீரான அகலமுள்ள துவாரம் கொண்ட ஒரு புழைநாளத்தை எடுத்துக்கொள்ளவும். அதை சாம்பரப்பரமங்கனகை (Potassium permanganate) யினாலாவது அல்லது ஒரு காடியினாலாவது கழுவிச் சுத்தம் செய்துகொள்ளவும். அதன் வழியே சூடான காற்றை ஒரு துருத்தியால் ஊதி ஈரத்தைப்போக்கவும். அதிலே ஏறக்குறைய 10 செ. மீ. நீளமுள்ள ரச நிரையை உறிஞ்சி எடுத்துக் கொள்ளவும். அந்த நிரையை நாளத்தில் நெடுகப் பல விடங்களில் இருத்தி அதன் நீளத்தை இயங்கும் அணு தரிசனியினால் (travelling microscope) அளக்கவும். அதன் நீளம் கூடியவரை மாறாதிருந்தால் அந்த நாளத்தையே உபயோகிக்கலாம். நீளத்தில் அதிக மாறுதல்கள் இருப்பின் அந்த நாளத்தை விட்டு வேறு நாளத்தைக் கொள்ளவேண்டும்.

அதன் ஒரு முனையை ஊதுலையில் (blow pipe) காய்ச்சி அதை ஊதி ஒரு குமிழாக செய்து கொள்ள

வும். மற்ருெரு மூனைக்கருகே சிறிது காய்ச்சி, அதைச் சிறிது இழுத்து, அந்த இடத்தில் நெருங்கிய துவார முள்ளதாகச் செய்துகொள்ளவும். அதே மூனையை ஒரு சிறிய ரப்பர்க் குழாயினுல் ஒரு புனலோடு இணைக்க வும். புனலில் சிறிது பாதரசத்தை விட்டால் அது புழையின் வழியே உட்செல்ல மாட்டாமல் நிற்கும். (படம் 156). இப்பொழுது குமிழைச் சிறிது காய்ச்சவும். உள்ளே யிருந்து காற்று கொப்புளித்து வெளிவரும். இப்பொழுது குமிழைக் குளிரச் செய்தால் சிறிது பாதரசம் உள்ளே தள்ளப்படும். இவ்வாறு சிறிது சிறிதாகக் குமிழ் நிரம்பி காம்பில் சிறிதுயரம் பாதரசம் நிரம்பும் வரைச் செய்யவும் புனலேயும் ரப்பர்க் குழாயை யும் கழற்றிவிட்டுக் குமிழை, அதிலுள்ள பாதரசம் கொதிக் கும்வரை நன்ருக அனலில் காய்ச்சவும். குமிழிலும் நாளத்திலும் பாதரசமும் அதன் ஆவியுமே நிறைந்திருக் கும். இப்பொழுது அதைக் குளிரவிட்டால் பாதரசம் நாளத்தின் நுனியிலிருந்து கீழிறங்கி வரும். அது சுருக் கத்திற்கு அருகே வந்தவுடன், அங்கே ஊதுலேயின் அனலேச் செலுத்தி நுனியை இழுத்து மூடிவிடவும். நன்ருகக் குளிர்ந்தவுடன் குமிழ் நிறைந்து பாதரசம் காம்பிலே சிறிதுயரம் ஏறி நிற்கும். இப்போது உஷ்ண



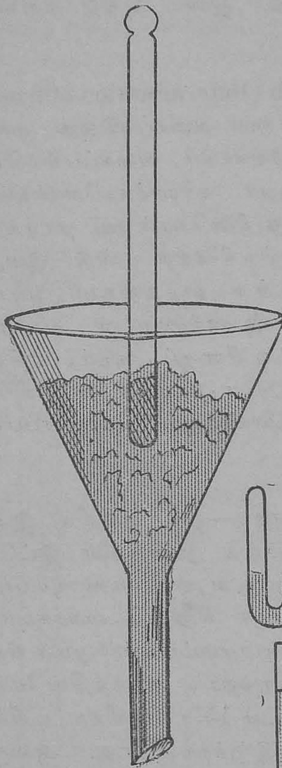
படம் 156

நிலைமானி தயாராகிவிட்டது. இனி அதை வகைப் படுத்தவேண்டும்.

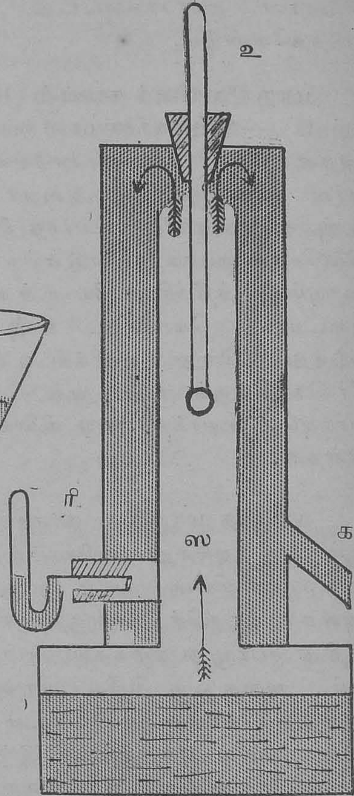
மாறநிலைகளைக் காணல் (Determination of fixed points) :—உஷ்ணநிலைமானியை வகைப்படுத்து முன் அதன் மாறு நிலைகளைக் காணவேண்டும். வகைப்படுத்திய மானி ஒன்றிருந்தால் அதைச் சரிபார்க்கவேண்டும். உஷ்ணநிலைமானிக்கு உயர்ந்த நிலையொன்றும் தாழ்ந்த நிலையொன்றுமாக இரண்டு மாறு நிலைகள் உண்டு. இவற்றையும் இவற்றிற்கிடையே உள்ள தூரத்தையும் அடிப்படையாகக் கொண்டே உஷ்ணநிலைமானி வகைப் படுத்தப்படுகிறது. பனிக்கட்டியிளகும் சூடும், சுத்த நீர் கொதிக்கும் சூடும், முறையே தாழ்ந்த மாறு நிலையாகவும், உயர்ந்த மாறு நிலையாகவும் கொள்ளப்படுகின்றன.

தாழ்ந்த மாறநிலை காண :—ஒரு புனலில் இளகும் பனி அல்லது பனிக்கட்டித் துண்டுகளை இட்டு, அதில் மானியின் குமிழ் முழுவதும் மறையும்படி அதைச் செருகிச் செங்குத்தாக நிறுத்தி வைக்கவும். சிறிது பொழுது கழிந்தவுடன் ரசமட்டம் மாறுமல் நிற்கும். அதை ஒரு சிறிய அரத்தால் நாளத்தின்மேல் குறித்துக்கொள்ளவும். (படம் 157). பனிக்கட்டியில் உப்பு முதலிய அசுத்தங்கள் இருக்கக்கூடாது. அவையிருப்பின் பனியிளகு நிலை குறைந்துவிடும். தூய பனியால் சூழப்பட்டபோது ரசமட்டம் ஒரு ஸ்திர நிலையை அடைந்து பின்னல் மாறுமல் இருக்கும். பவன இறுக்க மாறுபாடுகளும் பனியிளகு நிலையை அதிகமாய்ப் பாதிப்பதில்லை.

உயர்ந்த மாறநிலை காண :— உஷ்ணநிலைமானி படத்திற் கண்டபடி கோதிநிலைமானி (Hypsometer)



படம் 157




படம் 158

(படம் 158) என்னும் கருவியினுள் வைக்கப்படுகிறது. கீழேயுள்ள நீர் காய்ச்சப்பட நீராவி, ஸ என்னும் உருளை வழியாக மேலெழும்பி வெளி உருளையில் பரவி, க என்னும் வாயில் வழியாக வெளியேறுகிறது. ரி என்பது ஒரு இறுக்கமானி (manometer). க வேண்டிய அளவுக்

குப் பெரியதாய் இருப்பின், இறுக்கமானியில் திரவ மட்டம் இரு கிளைகளிலும் சமமாய் நிற்கும். உஷ்ண நிலைமானியில் பாதரசமட்டம் ஸ்திரநிலையை அடைந்தவுடன் அடைப்பானைச் சிறிது வெளியே வரும்படி இழுத்து, அம்மட்டத்தை அரத்தால் குறிப்பிட வேண்டும். உஷ்ணநிலைமானியைக் கொதி நீரில் வைப்பது கூடாது. ஏனெனில் அந்நீரில் ஏதேனும் அசுத்தங்கள் இருப்பின் அதன் சூடு மாறும். ஆனால் இம்மாறுபாடு நீராவியின் சூட்டில் ஏற்படுவதில்லை. மற்றும் தண்ணீர் வைக்கப்பட்டிருக்கும் பாத்திரம் அழுக்கின்றி தூயதாய் இருப்பின், முதலில் நீர் கொதிப்பதற்கு முன்பே கொதி நிலையைவிட உயர்ந்த சூட்டை அடையும். பின்னர் திடீரெனப் பொங்கி வடியும். அதன் பிறகு கொதிநிலைச் சூட்டை அடையும்.

கொதிநிலைச் சூடு பவன இறுக்கத்திற்குத் தகுந்தபடி மாறும் தன்மையுடையது. அதைக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் காணலாம்.

| இறுக்கம் | சூடு |
|---|---|
| 70 செ. மீ. | 97·71°c |
| 72 ,, | 98·49 ,, |
| 74 ,, | 99·25 ,, |
| 76 ,, | 100·00 ,, |
| 78 ,, | 100·73 ,, |
| 80 ,, | 101·44 ,, |

ஆகவே இதில் கண்டபடி திருத்தம் செய்து கொள்ளவேண்டும்.

வகைப்பாடு (Calibration) :— மேற்கண்டவாறு தயார்செய்யப்பட்ட உஷ்ணநிலைமானியின் காம்பில்

கொதிநிலைக்கும் உறைநிலைக்கும் இடையே ஏற்பட்டுள்ள தூரமே, எல்லாவிதமான சூட்டை அளக்கும் கருவிகளையும் வகைப்பாடு செய்வதற்கு அடிப்படையாகக் கொள்ளப்படுகிறது. அந்த தூரத்தை வகுப்பதற்கு மூன்று முறைகள் கையாளப்படுகின்றன. அவை முறையே சேன்டி கிரேட் திட்டம், பாரன் ஹீட் திட்டம், நுமர் திட்டம் எனப்படும்.

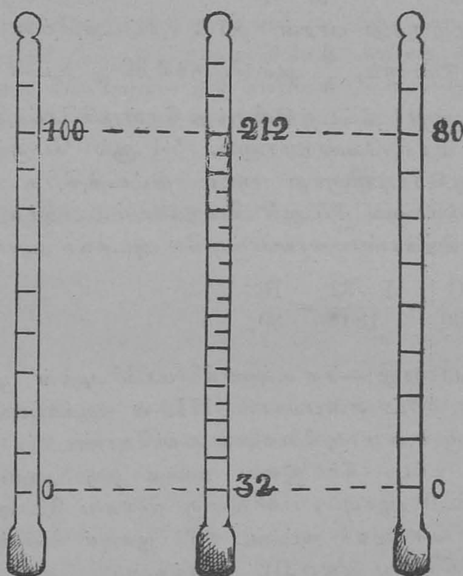
சென்டிகிரேட் திட்டத்தில் பனியிளகு நிலை $0^\circ c$ எனவும் கொதிநிலை $100^\circ c$ எனவும் குறிக்கப்படுகின்றன. இவற்றிற்கிடையேயுள்ள தூரம் 100 சம பாகங்களாக வகுக்கப்படுகிறது. இந்த உஷ்ணநிலைமானியைக் கொண்டு ஒரு பொருளின் சூட்டை அளக்கும்போது, ரசமட்டம் $t$ என்னும் பிரிவை ஒட்டி நின்றால், அப்பொருளின் சூடு $t^\circ c$ எனப்படும். வெவ்வேறு விதமான கண்ணாடிகளைக்கொண்டு செய்யப்பட்ட பல மானிகளால், ஒரு பொருளின் சூட்டை அளந்தால் அவ்வளவுகள் துல்லியமாக ஒத்திருப்பதில்லை. $1^\circ c$க்கும் $100^\circ$ க்கும் இடையே இந்த வேறுபாடு ஏறக்குறைய $\frac{1}{10}{}^\circ c$ வரை உண்டாகிறது. இத்திட்டமே விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிகளில் இவ்வுலக முழுவதிலும் கையாளப்படுகிறது.

பாரன் ஹீட் திட்டம் வருமாறு :—இதில் பனியிளகுநிலை $32^\circ$F என்றும், கொதிநிலை $212^\circ$F என்றும் கொள்ளப்படுகிறது. இடைப்பட்ட தூரம் 180 சம பாகங்களாக வகுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது விஞ்ஞான வேலைக்கன்றி மற்றெல்லா வேலைகளுக்கும் இங்கிலாந்து, அமெரிக்கா முதலிய நாடுகளில் பயன்படுகிறது.

ரூமர் திட்டத்தில் பனியிளகு நிலை $0^\circ$R என்றும் கொதிநிலை $80^\circ$R என்றும் கொள்ளப்படுகிறது.

இடைப்பட்ட தூரம் 80 சம பாகங்களாக வகுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இத்திட்டம் ஜெர்மனி முதலிய சில ஐரோப்பிய நாடுகளில் வழங்கிவருகிறது.

இம்மூன்று திட்டங்களுக்குமுள்ள தொடர்பு, (படம் 159) படத்திலிருந்து நன்கு விளங்கும். எல்லாவற்றிலும் 0° க்குக் கீழ்ப்பட்ட சூடுகளுக்கெல்லாம் முன்னால் குறைக்குறி ( — ) சேர்க்கப்பட்டு வழங்கும்.




படம் 159

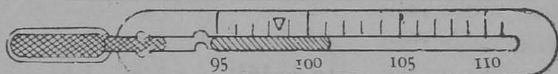
சூட்டின் அளவுகளை ஒரு திட்டத்திலிருந்து மற்றொன்றிற்கு மாற்றும்போது, அவை பனியிளகு நிலையிலிருந்து மேலோ அல்லது கீழோ எத்தனை பாகைகள்

விலகியிருக்கின்றன என்பதை முதலில் கவனிப்பது அவசியம். மேலும் 100 சென்டிகிரேட் பாகைகள் = 180 பாரன் ஹீட் பாகைகள் = 80 ரூமர் பாகைகள். ஆகையால் 5 சென்டிகிரேட் பாகைகள் = 9 பாரன் ஹீட் பாகைகள் = 4 ரூமர் பாகைகள். எனவே பாரன் ஹீட் திட்டத்தில் கூறப்பட்ட சூட்டை சென்டிகிரேட் திட்டத்திற்கு மாற்றவேண்டுமானால், அதிலிருந்து 32 ஐக் கழித்து $\frac{5}{9}$ ஆல் பெருக்கவும். சென்டி கிரேடிலிருந்து பாரன் ஹீட் திட்டத்திற்கு மாற்ற வேண்டுமானால், $\frac{9}{5}$ ஆல் பெருக்கி 32-ஐ உடன் கூட்டவும். ரூமர் திட்டத்திலிருந்து சென்டிகிரேட் திட்டத்திற்கு மாற்றவேண்டுமானால், 5/4 ஆல் பெருக்கவும். சென்டிகிரேடிலிருந்து ரூமர் திட்டத்திற்கு மாற்ற வேண்டுமானால் 4/5 ஆல் பெருக்கவும். இந்த விதிகளைக் கீழ்க்கண்ட வாய்பாட்டிலே அடக்கிக் கூறலாம்.

$$\frac{C}{100} = \frac{F-32}{180} = \frac{R}{80}$$

வரலாறு:—ரச உஷ்ணநிலைமானி முதன் முதலில் பாரன் ஹீட் என்பவரால் 1712-ல் ஆக்கப்பட்டது. அவர் மூன்று மாறாநிலைகளைக் கைக்கொண்டார். பனிக்கட்டி, உப்பு, நீர் இவை கலந்த ஒரு கலவையின் சூட்டை 0° ஆகவும், பனியிளகு நிலையை 32° ஆகவும் மக்கள் யாக்கைச் சூட்டை 96° ஆகவும் கொண்டார். கொதிநிலையை அவர் 212° எனக்கண்டும் அது பவன விறுக்கத்திற்குகந்தபடி மாறுவதால் அதை ஒரு மாறாநிலையாகக் கொள்ளவில்லை. சென்டிகிரேட் திட்டம் செல்ஸியஸ் அப்ஸாலா என்பவரால் 1742-ல் வகுக்கப்பட்டது. மக்கள் யாக்கையின் சூடு துல்லியமாக அளந்தால் 98.4°F இருக்கிறது.

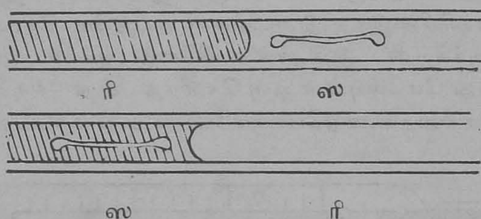
1. திரவ உஷ்ணநிலைமானிகளில் சில விசேஷ அமைப்புகள். உடல் உஷ்ணநிலைமானி (clinical thermometer) :—இது மனித உடலின் சூட்டை அளப்பதற்காக ஏற்பட்டது. ஜுரம் முதலிய நோய்கள் வந்த போது உடலின் சூடு அடிக்கடி மாறுபடுவதால், அதை அளந்து நோயின் தன்மையை அறிய வைத்தியர்களால் கையாளப்படுகிறது. மனித உடலின் சூடு ஆரோக்கிய நிலையில் 98.4°F இருக்கிறது. நோய்கொண்ட பொழுதும் அது 95°Fக்கும் 110°Fக்கும் இடையிலே இருப்பதால் மானியில் இந்த இடைவெளி மட்டுமே கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. இதிலுள்ள விசேஷ அம்சம் குமிழுக்குச் சற்று மேலேயுள்ள ஒரு நெளிந்த சிறு சுருக்கமாகும். ரசநிரை நீண்டுபோகும்போது அது சுருக்கத்தின்




படம் 160

வழியாக நுழைந்து மீறிக்கொண்டு மேலேபோய்விடுகிறது. (படம் 160). ரசநிரை மீண்டு குமிழுக்குள் செல்லும்போது, சுருக்கத்தின்மீதுள்ள பாகம் தனியாகப் பிரிந்து நின்றுவிடுவதால், மானியை நோயாளியின் உடலில் இருந்து எடுத்து சாவகாசமாய்ப் பார்க்கலாம். மானியை மறுபடியும் உபயோகிக்கவேண்டுமானால் அதன் மேல் நுனியை இறுகப் பிடித்துக்கொண்டு உதரவேண்டும். இதனால் பாதரசம் சுருக்கத்தின் வழியாக மீறிக்கொண்டு குமிழுக்குள் மீண்டு வந்து சேரும். நோயாளியின் சூட்டை அளக்கும்போது மானியின் குமிழை நோயாளியின் கைமூலத்திலாவது நாக்கினடியிலாவது சில நிமிஷங்கள் வைத்திருந்து எடுத்துப் பார்ப்பது வழக்கம்.

**2**. நுதர்போர்டின் உச்ச நீசநிலை உஷ்ணநிலை மானிகள் (படம் 161):—இவை ஒரு நாளில் அல்லது ஒரு குறித்தகாலத்திற்குள் ஏற்பட்ட மிகவுயர்ந்த (உச்ச நிலை) சூட்டையும், மிகத்தாழ்ந்த (நீசநிலை) சூட்டையும் குறிக்கப் பயன்படுவனவாம். இது ஒரு சாமானிய ரச உஷ்ணமானியைப் போன்றதே. இது எப்போதும் படுக்கை வாக்கிலேயே வைக்கப்படும். ரசமட்டத்திற்கு மேலுள்ள பாழ்வெளியில் ஒரு எஃகுத்துண்டு இரு



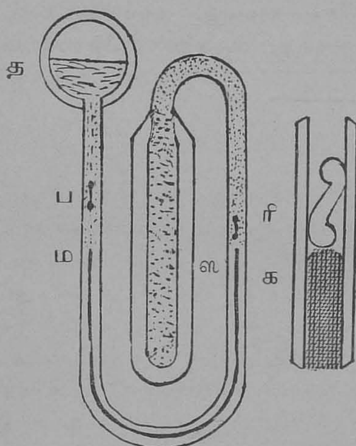

படம் 161

தலைக்குண்டு உருவத்தில் இருக்கிறது. ரசநிரை நீளும் போது எஃகுத்துண்டை முன்னால் தள்ளிக்கொண்டு போகிறது. அது சுருங்கும்போது எஃகுத்துண்டை அவ்விடத்திலேயே விட்டுவிட்டுப் பின்வாங்கி வருகிறது. இப்படியாக ரசநிரையை நோக்கி இருக்கும் எஃகுத் துண்டின் முனை உச்சநிலைச் சூட்டைத் தெரிவிக்கிறது. இக்கருவியை மறுபடி உபயோகிப்பதற்கு முன்னால் உஷ்ணநிலைமானியைச் சாய்த்து, எஃகுத்துண்டு சரிந்து ரசநிரையைத் தொடும்படி செய்துவைக்க வேண்டும். உடல் உஷ்ணநிலைமானியைப் போன்று வேலைசெய்யும் உச்சநிலை உஷ்ணநிலைமானிகளும் உண்டு.

ருதர் போர்டின் நீசநிலை உஷ்ணநிலைமானிகளில் சாராயம் நிரப்பப்பட்டிருக்கிறது. அதிலும் ஒரு

எஃகுத் துண்டு இருக்கிறது. அது திரவநிரைக்குள் இருக்கிறது. திரவநிரை சுருங்கும்பொழுது மட்ட விளிம்பு இதை உடனிழுத்துச் செல்லும். அது நீளும் பொழுது திரவம் இதைக் கடந்து ஓடிவிடும். இப்படியாகத் திரவமட்டத்தை நோக்கி நிற்கும் எஃகுத்துண்டின் முனை நீசநிலைச் சூட்டைக் காட்டுகிறது. மறுபடி உபயோகிப்பதற்கு முன்னால் மானியைச் சாய்த்து, எஃகுத்துண்டு சரிந்து திரவமட்டத்தைத் தொடும்படி செய்யவேண்டும்.

3. **ஸிக்ஸின் உச்சநீசநிலை உஷ்ணநிலைமானி** :— (படம் 162) இதில் ஸ என்பது ஒரு குமிழ். அதிலும் அதைச் சார்ந்த குழாயில் க வரையிலும் சாராயம் நிறைந்திருக்கிறது. கம ஒரு ரசநிரை. ம-வின் மேலும் த என்னும் குமிழில் பாதிவரையிலும் சாராயம் நிரம்பி இருக்கிறது. ப, ரி இவை யிரண்டும் இருதலைக் குண்டு வடிவமான எஃகுத் துண்டுகள். இவற்றில் ஒவ்வொன்றையும் சார்ந்த வில்




படம் 162

ஒன்று மற்றொரு படத்தில் கண்டபடி குழாயின் சுவற்றில் உதைந்துகொண்டிருக்கிறது. சூடு ஏறும்போது ஸ-விலுள்ள சாராயத்தின் பருமை அதிகரிக்க ரசநிரை நகர்ந்து, ம என்னும் ரசமட்டம் ப-வை மேலே தள்ளி

வைக்கிறது. ஆகவே ரசமட்டத்தை நோக்கிய ப-வின் முனை உச்சநிலைச் சூட்டைத் தெரிவிக்கும். சூடு குறையும்போது ஸ-விலுள்ள சாராயம் சுருங்க, ரசநிரை நகர்ந்து ரீ மேலே தள்ளப்படுகிறது. ஆகவே ரச மட்டத்தை நோக்கிய ரீ-யின் முனை நீசநிலைச் சூட்டைத் தெரிவிக்கிறது. இதை மறுபடியும் உபயோகிக்குமுன் ஒரு காந்தச் சட்டத்தால் (Bar-Magnet) ரீ-யையும் ப-வையும் முறையே க-வையும் ம-வையும் தொடும்படி வைக்கப்படவேண்டும். இது மிகத் துல்லியமாய் இல்லாவிடினும் தோட்டக்காரர்களுக்குப் பெரிதும் பயன்படுகிறது.

---

## வினாக்கள்

1. ஒரு செவ்விய உஷ்ணநிலைமானிக்கு இருக்க வேண்டிய இயல்புகளையெல்லாம் எடுத்துக் கூறுக. ஒரு சாமானிய ரச உஷ்ணநிலைமானியிலே இவ்வியல்புகள் எந்த அளவுக்கு நிரம்பி இருக்கின்றன என்பதை விவரித்துக் கூறுக.

(பம்பாய், 1933)

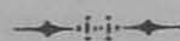
2. ஒரு பாதரச உஷ்ணநிலைமானியை எவ்வாறு செய்வது என்று விவரித்துக் கூறுக.

வைத்திய உஷ்ணநிலைமானி என்றால் என்ன? சாமானியமாய் ஆய்வுச் சாலையிலே கையாளப்படும் உஷ்ணநிலைமானிக்கும் அதற்குமுள்ள வேற்றுமை யாது?

(ரங்கூன், 1933)

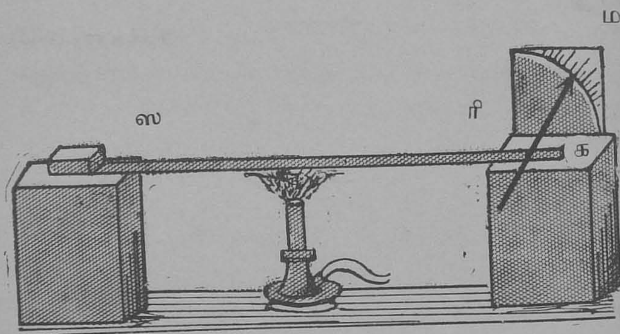
---

# அத்தியாயம் 2



## திடப்பொருள்களின் அகற்சி
## (Expansion of Solids)

திடப்பொருள்களின் அகற்சி :—பொதுவாக எல்லா திடப்பொருள்களும் சூடேறினல் அகற்சி அடைகின்றன ; சூடு குறைந்தால் சுருங்குகின்றன என்பது அநுபவ உண்மை. இதை ஒரு சோதனையால் விளக்கிக் காட்டலாம். (படம் 163). ஸரி என்பது ஒரு தட்டையான இருப்புச் சட்டம். ஸ என்ற முனை அசையாமல் பொருத்தப்படிருக்கிறது. ரி என்ற முனை க என்னும்




படம் 163

ஒரு தைக்கும் ஊசி மீது வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ம என்பது க-வோடு பொருத்தப்பட்ட ஒரு சூசிகை. சட்டத்தை விளக்கினல் காய்ச்ச ஸரி நீண்டு ரி முனை ஊசியை உருட்டும். இது சூசிகையின் அசைவால் நன்கு காட்டப்படும். விளக்கை எடுத்துவிட ஸரி சுருங்கிச் சூசிகை தன்னிலைக்கு வந்துவிடும்.

ஒரு திடப்பொருளுக்கு வெப்பம் ஏற்றுவதால் அதன் நீளம், பரப்பு, பருமை ஆகிய மூன்றும் பாதிக்கப்படுகின்றன. நீளம் அதிகமாகிறது; பரப்பு அகற்சியடைகிறது; பருமை பெருக்கமடைகிறது. சூடு குறைந்தால் இவையெல்லாம் சுருங்குகின்றன.

நீட்சிப்பான்மை (coefficient of linear expansion :—ஒரு சட்டம் வெப்பம் ஏற்பதால் நீளும்பொழுது அந்நீட்சி

(1) அதன் முன்னைய நீளத்திற்கு ஏற்ப நேராகவும்

(2) சூட்டு வேறுபாட்டிற்கு ஏற்ப நேராக இருப்பதாகவும்

(3) சட்டம் ஆக்கப்பட்ட பதார்த்தத்திற்குத் தக்கபடி மாறுவதாகவும் தெரிகிறது.

அதாவது ஒரு சட்டத்தின் நீளம் $0°c$ யில் $l_0$ ஆகவும், $t°c$ ல் $l$ ஆகவும் இருப்பின் நீட்சியாகிய

$$l - l_0 = \alpha . l_0 . t$$

அல்லது $l = l_0 (1 + \alpha t)$.

இதில் $\alpha$ என்பது சட்டம் ஆக்கப்பட்ட பதார்த்தத்தின் நீட்சிப்பான்மை எனப்படும் ஓர் மாறிலி. அதாவது

ஒரு திடப்பொருளின் நீட்சிப்பான்மையென்பது, அப்பொருளால் ஆக்கப்பட்ட ஓர் அலகு நீளமுள்ள சட்டத்திற்கு ஒரு பாகை சூடேற்றுவதால் ஏற்படும் நீட்சியாகும்.

விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிகள் எல்லாவற்றிலும் வழக்கமாய் உபயோகிக்கப்படுகின்ற சென்டிகிரேட் திட்டத்திலுள்ள பாகையே, நீட்சிப்பான்மை யளவுகளில்

அலகுச் சூடாகக் கொள்ளப்படுகிறது. எல்லா உலோகங்களின் நீட்சிப்பான்மையை அளந்திருக்கிறார்கள். இந்த நீட்சிப்பான்மைகள் மிகச் சிறிய எண்களாம். சில உதாரணங்கள் வருமாறு :—

| | | | |
|---|---|---|---|
| அலுமினியம் | ·0000222 | செம்பு | ·0000167 |
| இரும்பு | ·0000117 | நாகம் | ·0000298 |
| எஃகு | ·0000110 | பிளாடினம் | ·0000089 |
| எபோனைட் | ·0000770 | பித்தளை | ·0000189 |
| கண்ணாடி | ·0000089 | பொன் | ·0000142 |
| காரீயம் | ·0000280 | வெள்ளி | ·0000194 |

மேற்கண்ட எண்களெல்லாம் தோராயமானவையே. இவை பெரும்பாலும் சோதனை செய்யும்போது நாம் எடுத்துக்கொண்ட பொருளின் நிலையையும், அதன் முன்னைய வரலாற்றையும் பொறுத்திருக்கின்றன. பிளாடினத்திற்கும் கண்ணாடிக்கும் ஒரே பான்மையிருப்பது குறிப்பிடத்தகுந்தது. இதனால் பிளாடினக் கம்பிகளை கண்ணாடிக்குள் வைத்து ஊதிப்பற்றவைக்கமுடியும். மற்ற கம்பிகளை அவ்வாறு செய்யமுடியாது. சூடு மாறும்போது அவை கழன்றுவிடும் அல்லது கண்ணாடிச் சுவரைப் பிளந்துவிடும்.

ஒரு கம்பியின் நீளம் $t_1°$ c சூட்டில் $l_1$ செ. மீ. இருப்பதாக வைத்துக்கொண்டு, $t_2°$ c சூட்டில் அதன் நீளத்தைக் காண முயலுவோம். நீட்சிப்பான்மையின் இலக்கணப்படி, 0° c சூட்டில் அக்கம்பியின் நீளம் $l_0$ செ. மீ. ஆனால்

$$l_1 = l_0 (1 + \alpha t_1)$$

இதில் $\alpha$ என்பது நீட்சிப்பான்மை.

$$l_0 = \frac{l_1}{1 + \alpha t}$$

மேலும் $l_2 = l_0(1 + \alpha t_2)$

ஆகையால் $l_0 = \dfrac{l_2}{1 + \alpha t_2}$

எனவே $l_2(1 + \alpha t_1) = l_1(1 + \alpha t_2)$

அல்லது $l_2 = l_1 \dfrac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}$

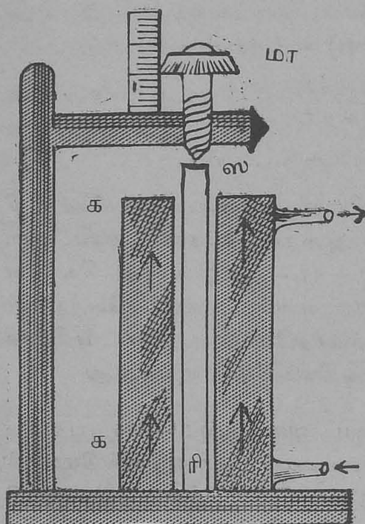
$= l_1 \{1 + (t_2 - t_1)\alpha + \ldots\ldots \alpha^2\}$

இதில் $\alpha$ மிகச் சிறியது. ஆகையால் $\alpha^2$ மிகச் சிறிதாகப்போய்விடுவதால் அதைப் புறக்கணித்துவிடலாம். ஆகையால் $l_2 = l_1[1 + (t_2 - t_1)\alpha]$ என்று கொள்ளலாம். எனவே $(t_2 - t_1)$ என்னும் சூட்டு வேற்றுமை மிகப் பெரியதாக இல்லாதபோது $l_0$ க்குப் பதிலாக $l_1$ ஐ உபயோகிப்பதில் அதிகப் பிழை ஏற்படாது.

நீட்சிப்பான்மையை அளத்தல் :—ஒரு பதார்த்தத்தின் நீட்சிப்பான்மையைக் காணவேண்டுமானால் (1) அதனாலாகிய ஒரு கம்பியின் நீளம் (2) சூட்டு வேற்றுமை (3) அச்சூட்டு வேற்றுமையால் ஏற்படும் நீட்சி ஆகிய இவை மூன்றையும் நாம் அளக்கவேண்டும். இவற்றில் முன்னை இரண்டையும் எளிதிலே அளந்துவிடலாம். மூன்றாவதாகிய நீட்சியை அளப்பது சிறிது கடினம். அது மிகச் சிறியதாய் இருப்பதால் நுணுக்கமான கருவிகளைக் கொண்டு அதை அளக்கவேண்டும்; அல்லது அதைப் பன்மடங்கு பெருக்கியாவது அளக்கவேண்டும். இவ்விரண்டு முறைகளும் கையாளப்படுகின்றன.

ஒரு உலோகத்தின் நீட்சிப்பான்மையைக் காண :—(1) கோளமானி (Spherometer) முறை. (படம் 164) படத்திற்கண்ட கருவி கல்லூரி ஆய்வுச் சாலைகளில் கையாளப்படுகிறது. ஸரி என்பது உருளை

யான உலோகச் சட்டம். அதை கக என்னும் தகரக் கூடு சூழ்ந்திருக்கிறது. மா என்பது ஒரு கோளமானி. அதன் திருகிடை $\frac{1}{2}$ மி. மீ. உள்ளது. அதன் வட்ட வடிவமான தலை 100 சம பாகங்களாக வகுக்கப்பட் டிருக்கிறது. எனவே அதை ஒரு பிரிவு தூரம் திருப்பினுல் திருகின் முனை $\frac{1}{200}$ அல்லது ·005 மி. மீ. தூரம் நகரும்.

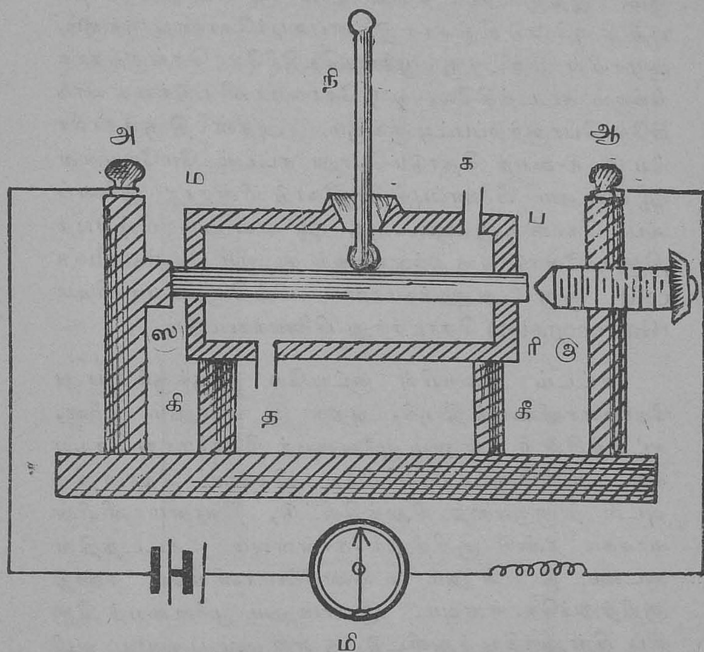


படம் 164

உலோகச் சட்டத்தைக் கூட்டினுள் வைக்குமுன் அதன் நீளத்தை ஒரு மீட்டர் அளவியால் அளந்து கொள்ளவும். பிறகு அறையின் சூட்டைக் கண்டு அதைச் சட்டத்தின் சூடாகக் கொள்ளவும். இதற்கு ஒரு உஷ்ணநிலைமானியின் வாசகத்தை (T°)க் குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது கோளமானியைத் திருகி அதன் முனை உலோகச்சட்டத்தின் தட்டையான முனையைத் தொடச்செய்து, கோளமானியின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு அதை மேலே திருகி சட்டம் நீட்சி அடைய இடங் கொடுக்கவும். இப்பொழுது கூட்டினுள் நீராவியைப் புகச்செய்யவும். நேரஞ் சென்றபின் கோளமானியின் திருகை மறுபடியும் தாழ்த்தி, அது சட்டத்தின் முனையைத் தொட்டவுடன், அதன் வாசகத்தை மறுபடியும்

குறித்துக்கொள்ளவும். கோளமானியின் இவ்விரண்டு வாசகங்களின் வேற்றுமை சட்டத்தின் நீட்சியாகும். நீராவியின் சூட்டை 100°*c* என்று எடுத்துக்கொள்ளலாம்.

உலோகச்சட்டத்தின் நீட்சிப்பான்மையைக் காணும் மற்றொருமுறை வருமாறு:—(படம் 165) ஸரி




படம் **165**

என்ற சட்டத்தின் நீளம் அறையின் சூட்டிலே அளக்கப்படும். இது மப என்னும் தகரக் குழாயினுள் வைக்கப்படும். இக்குழாய் பஞ்சினுலும் மற்றும் தகைக்

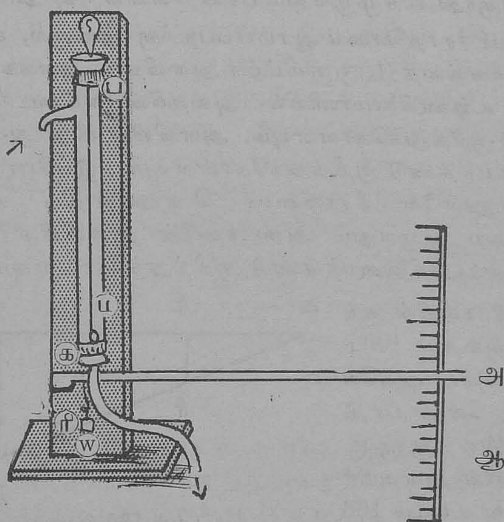
கும் பொருளினாலும் சூழப்பட்டிருக்கும். மற்றும் கி, கீ என்னும் இரண்டு தாங்கல்களின் மீது நிற்கும். இத் தாங்கல்கள் அதற்கடியிலுள்ள பீடத்தைச் சேர்ந் தவை. சட்டத்தின் ஸ என்னும் முனை, பீடத்தோடு இணைக்கப்பட்டுள்ளதொரு கட்டையிலே பொருத்தப் பட்டுள்ள உலோகக்கட்டையைத் தீண்டிக்கொண்டிருக் கும். இதனால் சட்டத்தின் முனை அ என்னும் பிடிப் புத் திருகோடு மின்சார இணைப்பைக்கொண்டிருக்கும். குழாயின் மற்றொரு முனைக்கெதிரிலே செங்குத்தாக நிற்கும் சட்டத்திலே, ஒரு கோளமானி படுக்கை வாக் கிலே பொருத்தப்பட்டிருக்கும். அதன் திருகுகாலா கிய இ, ரி-யைத் தொடும்போது சட்டம் மேலேயுள்ள ஆ என்னும் பிணைப்புத்திருகோடு மின்சார இணைப் பைக் கொண்டிருக்கும். அ, ஆ என்னும் பிடிப்புத் திருகுகளோடு ஒரு லக்ளாஞ்சுக் கடமும் (Leclanche's cell) ஒரு நுணுக்கமான மின்னோட்டமானியும் (Galvanometer) தொடர்ந்து பிணைக்கப்படும்.

சட்டம் அறையின் சூட்டிலே இருக்கும்போது கோளமானியைத் திருகி, அதன் இ என்னும் முனை, சட்டத்தின் ரி என்னும் முனையைத் தீண்டுமாறு செய்ய வும். மின்னோட்டமானியிலே விலக்கம் தோன்றிய வுடன் திருகுவதை நிறுத்திவிட்டு, கோளமானியின் வாசகம் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். சட்டத்தின் சூட்டை நி என்னும் உஷ்ணநிலைமானியிலே கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இ என்னும் முனையைத் திரு கிப் பின்னுக்கிழுத்துவிட்டு, க என்னும் புகுவாய் வழி யாக நீராவியை உட்செலுத்தவும். இந்த நீராவி த என் னும் வாயிலின் வழியாக வெளிப்படும். உஷ்ணநிலைமானி யின் வாசகம் துளங்காநிலையை அடைந்தபிறகு, கோள மானியை மறுபடியும் திருகி, இ என்னும் கால் சட்டத் தின் ரி என்னும் முனையைத் தீண்டுமாறு செய்யவும்.

இத்நீண்டல் ஏற்படுவது மின்னோட்டமானியிலேற்படும் விலக்கத்தாலறியப்படும். இப்போது மறுபடியும் கோளமானியின் வாசகம் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். கோளமானியின் இரண்டு வாசகங்களின் வேற்றுமையே சட்டத்தின் நீட்சியாகும். உஷ்ணநிலைமானியின் வாசக வேற்றுமையே சூட்டு வேற்றுமையாகும்.

இரண்டு முறைகளிலும் சட்டத்தின் நீளம் $l$ என்றும் சூட்டின் அளவுகள் $t_1$, $t_2$ என்றும், நீட்சி $a$ என்றும் கொண்டால், கம்பியின் நீட்சிப்பான்மை

$$\alpha = \frac{a}{(t_2 - t_1)l}$$ ஆகும்.

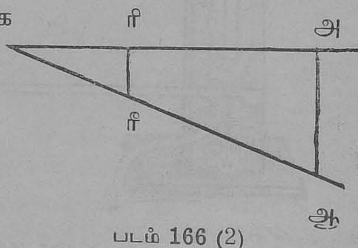



படம் 166 (1)

(3) பெருக்கமுறை: (படம் 166 (1)) இதில் உபயோகிக்கப்படுவது ஸ ரி என்னும் ஒரு மெல்லிய கம்பி

நாண். இது தாங்குகாலின் மேலேயுள்ள ஒரு பிடிப்பில் இருந்து தொங்குகிறது. இதில் நெளி வேற்படாதிருப்பதற்காக இதன் அடியில் W என்னும் படிக்கல் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. இதற்குச் சற்று மேலே இக்கம்பி ஒரு படுக்கைவாக்கிலுள்ள சூசிகையோடு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்தச் சூசிகை க என்னும் புள்ளியைச் சுற்றிச் சுழலும் ஒரு நெம்புகோலாம். அதன் அ என்ற முனை செங்குத்தாகப் பிடிக்கப்பட்ட ஒரு அளவியைத் தழுவிச்சரிந்து செல்லுகிறது. கம்பி ஸரி-யை பம என்னும் ஒரு தகரக்கூடு சூழ்ந்திருக்கிறது. இதின் மேலே ஒரு நுழைவாயிலும் கீழே ஒரு வெளிவாயிலும் இருக்கின்றன. இவற்றின் வழியாக நீராவி உட்புகுந்து கூடுமுழுவதும் பரவி வெளிவருகிறது.

பரிசோதனையை ஆரம்பிப்பதற்கு முன்னால், கம்பியின் நீளத்தை ($l_o$) ஒரு மீட்டர் அளவியால் அளக்கவும். ஒரு உஷ்ணநிலைமானியில் அறையின் சூட்டை ($t$) க் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். அளவியின் மீது அ-வின் நிலையைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இப்பொழுது கூட்டினுள்ளே நீராவியைச் செலுத்தி, கம்பி நீட்சியை முழுவதும் அடைந்தபின் அளவியின் மீது அ-வின் புதுநிலையைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும்.



படம் 166 (2)

நீராவியின் சூடு ஏறக்குறைய 100°c இருக்கும். ஆகவே சூட்டு வேறுபாடு (100-$t$)°c ஆகும். நீட்சியின் அளவு ரிரீ ஆகும். (படம் 166 (2)). ஆனால் நாம் அதை அளக்கவில்லை. கரிரீ, கஅஆ இவையிரண்டும் வடிவொத்த முக்கோணங்கள்.

ஆகையால்

$$ரீரீ = அ ஆ \times \frac{கரி}{கஅ}.$$

அஆ-வை நாம் அளந்திருக்கிறோம். கரி, கஅ இவை யிரண்டையும் ஒரு அளவியால் அளந்துவிட்டால் ரீரீ-யின் அளவைக் காணலாம். கரி ஏறக்குறைய ·5 செ.மீ. நீளமுள்ளது. கஅ ஏறக்குறைய 50 செ. மீ. நீளமுள் ளது. ஆகவே ரீரீ ஏறக்குறைய 100 மடங்கு பெருக்கிக் காட்டப்பட்டது. ஆகையால்

நீட்சிப்பான்மை $= \dfrac{அஆ \times கரி}{கஅ \times l \times (100 - t)}$ என்னும் வாய் பாட்டால் நீட்சிப்பான்மையைக் கணக்கிடலாம்.

பரப்பு அகற்சியும் பருமையகற்சியும் (Superficial and Cubical Expansions):—நாம் இதுவரை வெப்பம் ஏற்றுவதால் பொருள்களில் ஏற்படும் நீட்சியை மட்டுமே கவனித்தோம். இதுமட்டுமன்றி சூடு வேறு பாட்டால் பொருள்களின் பரப்பும் பருமையும் வேறு பாட்டை அடைகின்றன. அவை முறையே பரப்பு அகற்சி, பருமையகற்சி எனப்படும்.

ஒரு பொருளில் சூடு வேறுபாட்டால் ஏற்படும் பரப்பு அகற்சி (1) அதன் முன்னைய பரப்புக்கு ஏற்பவும் (2) சூடு வேறுபாட்டிற்கு ஏற்பவும் (3) பொருள் ஆக் கப்பட்ட பதார்த்தத்திற்குகந்தவாறும் இருப்பதாகக் காண்கிறோம். எனவே,

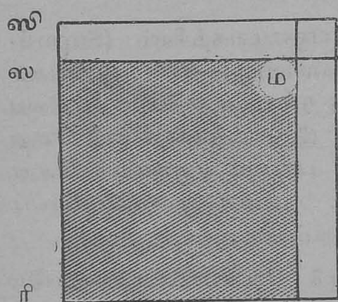
'ஒரு பதார்த்தத்தின் பரப்பு அகற்சிப்பான்மை, அப்பதார்த்தத்தாலான ஒரு அலகுப் பரப்புத்தகட்டில், ஒரு அலகுச் சூடேற்றுவதால் ஏற்படும் பரப்பு அகற்சி யாம்' என்று இலக்கணம் கூறலாம்.

இவ்வாறே ஒரு பொருளுக்கு வெப்பம் ஏற்றுவ தால் அதிலேற்படும் பருமையகற்சி (1) அதன் முன்

னைய பருமைக்கு ஏற்பவும் (2) சூடு வேறுபாட்டிற்கு ஏற்பவும் (3) அப்பொருள் ஆக்கப்பட்ட பதார்த்தத்திற்குகந்தபடியும் இருப்பதாகக் காண்கிறோம். எனவே,

'ஒரு பதார்த்தத்தின் பருமையகற்சிப் பான்மை, அப்பதார்த்தத்தாலான ஒரு அலகுப் பருமைக்கட்டியில், ஒரு அலகுச் சூடேற்றுவதால் ஏற்படும் பருமையகற்சியாம்' என்று இலக்கணம் கூறலாம்.

இப்போது நீட்சிப்பான்மை, பரப்பு அகற்சிப் பான்மை ஆகிய இவ்விரண்டிற்கும் உள்ள உறவைச் சற்று ஆராய்வோம். ஒரு செ. மீ. சிறையுள்ள ஒரு சதுரத் தகட்டை எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 167).




படம் 167

அதன் பரப்பு 1 செ. மீ. ஆகும். அதற்கு $1^\circ c$ சூடேற்றுவோம். அதன் பரப்பு $(1+\beta)$ ச. செ. மீ. ஆகிறது. இதில் $\beta$ பரப்பு அகற்சிப்பான்மையாகும். ரிக என்ற சிறையின் நீளம் 1 செ. மீ. அது சூடேற்றியவுடன் ரிகி என்றாகிறது. அதன் நீளம் $(1+\alpha)$ செ. மீட்டர். இதில் $\alpha$ நீட்சிப்பான்மையாகும். அப்படியே ரிஸ என்னும் சிறை ரிஸி ஆகிறது. அதன் நீளம் $(1+\alpha)$ செ. மீட்டர். ஆகவே **ஸி** ரி கி மி-யின் பரப்பு $= (1+\alpha)(1+\alpha)$ ச. செ.மீ. $= 1+2\alpha+\alpha^2$. ச. செ. மீட்டர். $\because \alpha$ சிறிய எண். ஆகையால் $2\alpha$ வை நோக்க மிகச்சிறியதாகிய $\alpha^2$-ஐப் புறக்கணித்து விடலாம். ஆகையால் சதுரத்தின் பரப்பு $=$ $(1+2\alpha)$ ச. செ. மீட்டர். முன்பு அதன் பரப்பு

$(1+\beta)$ ச. செ. மீ. எனக் கண்டோம். ஆதலால் $1+\beta=1+2\alpha$ அல்லது $\beta=2\alpha$.

இவ்வாறே 1 செ. மீ. சிறையுள்ள செங்கட்டியை $1^\circ c$ சூடேற்றுவோம். அதன் முன்னைய பருமை 1 க. செ. மீட்டர். சூடேற்றியபின் அதனுடைய பருமை $1+\gamma$ க. செ. மீ. ஆகும். இதில் $\gamma$ என்பது பருமையகற்சிப் பான்மை. அதன் ஒவ்வொரு சிறையும் $1+\alpha$ செ. மீ. நீளத்தையடைகிறது. எனவே அதன் பருமை

$$=(1+\alpha)\,(1+\alpha)\,(1+\alpha) \text{ க. செ. மீ.}$$
$$=1+3\alpha+3\alpha^2+\alpha^3.$$

$\alpha$ சிறிய எண்ணுகையால் $3\alpha$ வை நோக்க மிகச்சிறியன வாகிய $3\alpha^2$, $\alpha^3$ ஆகிய இவற்றைப் புறக்கணித்துவிடலாம். அதனுல் செங்கட்டியின் பருமை $(1+3\alpha)$ க. செ. மீ. ஆகிறது. முன்பு அதன் பருமை $(1+\gamma)$ க. செ. மீ. எனக் கண்டோம். ஆதலின் $1+\gamma=1+3\alpha$.

$$\text{அல்லது } \gamma=3\alpha.$$

இம்மூன்று பான்மைகளின் உறவு வருமாறு.

$$\gamma = 3\alpha = \frac{3\beta}{2}.$$

ஒரு பொருளின் சூடும் அதன் செறிவும்:—ஒரு பதார்த்தத்தின் பருமையகற்சிப்பான்மை $\gamma$ என்று கொள்வோம். அதன் பருமை $0^\circ c$ சூட்டில் $v_0$ ஆகவும் $t^\circ c$ சூட்டில் $v$ ஆகவும் இருப்பின் அவற்றின் உறவு வருமாறு.

$$v=v_0(1+\gamma t)$$

$0^\circ c$ சூட்டில் அப்பதார்த்தத்தின் செறிவு $\rho_0$ ஆகவும், $t^\circ c$ சூட்டில் $\rho$ ஆகவும் இருந்தால், அதனுடைய மாருத நிறை பின்கண்ட உறவால் பெறப்படும்.

$$v\rho=v_0\rho_0.$$

இவ்விரண்டு சமீகரணங்களையும் இணைத்தால்

$$\rho = \frac{\rho_0}{(1+\gamma t)}.$$

$\gamma$ மிகச் சிறிய எண்ணுகையால் இந்த உறவை $\rho = \rho_0 (1-\gamma t)$ என்றெழுதலாம்.

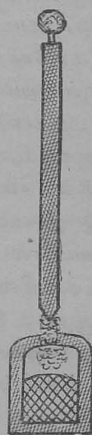
இதிலிருந்து ஒரு பதார்த்தத்தின் சூடு ஏறினால் அதன் செறிவு குறைகிறது என்றறிகிறோம். இது திட திரவங்கள் இரண்டிற்கும் பொருந்தும்.

அகற்சியின் விளைவுகள் :—பொருள்களுக்கு வெப்பம் ஏற்றுவதால் அவற்றில் ஏற்படும் அளவை வேற்றுமையின் விளைவுகளை நாம் தினசரி வாழ்க்கையில் பல விடங்களில் காணலாம். இருப்புப்பாதையில் உள்ள தண்டவாளங்களின் பொருத்துவாயில் சிறிய இடைவெளி இருப்பதைப் பார்க்கலாம். வேனிற்கால வெப்பத்தால் இருப்புத் தண்டவாளங்கள் நீளும்போது, அவை ஒன்றோடொன்று முட்டி வளைந்து போகாமல் இருப்பதற்காகவே இந்த இடைவெளி விடப்பட்டிருக்கிறது. பெரிய இரும்பு விட்டங்களைக்கொண்டு கட்டப்படும் பாலங்கள் முதலிய கட்டிடங்களில் இவ்வாறே சிறிய இடைவெளிகளை விட்டு வைக்கவேண்டியிருக்கிறது. வண்டிச்சக்கரங்களுக்கு இருப்புப் பட்டையிடும் கொல்லன் அதை அனலில் பழுக்கக் காய்ச்சுகிறான். இருப்புப்பட்டை நன்றாக அகற்சி யடைகிறது. அதை மரச்சக்கரத்தைச் சூழவைத்துப் பிறகு அதன் மீது தண்ணீரை விடுகிறான். அது குளிர்ந்து சுருங்கிச் சக்கரத்தை இறுக்கமாக அணைந்து கொள்ளுவதுடன் சக்கரத்தின் ஆரங்களையும் (Spokes) குடத்தினுள் (Hub) நன்றாக அழுத்திப் பதியவைக்கிறது.

மற்றும் கடியாரங்களும், கைக்கடியாரங்களும் வேனிற்காலத்தில் மெதுவாக ஓடுவதையும் குளிர்

காலத்தில் வேகமாக ஓடுவதையும் நாமறிவோம். இதுவும் சூட்டுவேறுபாட்டின் விளைவேயாகும். கடியாரத்தின் ஓட்டத்தை அதன் நாலம் அடக்கியாளுகிறது. நாலத்தின் ஆட்டப்பொழுது அதன் நீளத்தைமட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது என்று முன்னே கண்டோம். ஆகையால் கடியாரத்திலே நாலத்தின் நீளம் மாறாதவரை அது செவ்வையாகவே ஓடிக்கொண்டிருக்கும். ஆனால் வேனிற் குளிர்ப் பருவங்களில் ஏற்படும் சூடு வேற்றுமையால், கடியார நாலத்தின் நீளம் வேறுபட்டுக் கடியாரத்தின் ஓட்டம் பாதிக்கப்படுகிறது. வேனிற் பருவத்தில் மிகைச் சூட்டினால் நாலம் நீண்டு அதன் பொழுது அதிகப்பட, கடியாரம் மெதுவாக ஓடுகிறது. குளிர்காலத்திலோ, சூடு குறைந்து நாலம் குறுகி அதன் பொழுதும் குறைவதால், கடியாரம் விரைவாகச் செல்லுகிறது. ஆகவே காலத்தைத் திருத்தமாக அளப்பதற்கு சூட்டு வேற்றுமையால் நீளம் மாறுபடாத ஒரு நாலத்தை இயற்ற வேண்டியது அவசியமாகிறது.

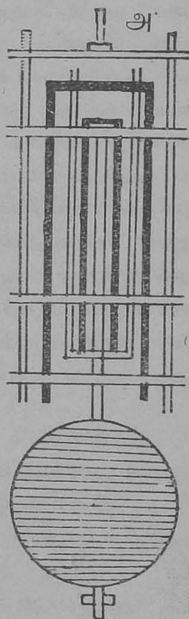
க்ரஹாமின் பாதரச நாலம் (Graham's mercurial pendulum) :—(படம் 168). இதிலே ஒரு இருப்புக் கம்பியின் நுனியில் பாதரசம் கொண்ட ஒரு கண்ணாடிக் குமிழ் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். சூடேறும்போது கம்பி நீண்டு, நாலத்தின் கவர்ச்சிமையத்தைத் தாழத்த அதனால் நாலத்தின் நீளம் அதிகரிக்கிறது. ஆனால் சூடேறுவதால் பாதரசம் அகற்சியடைந்து அதன் மட்டம் மேலேறும். ஆதலால் கவர்ச்சிமையம் மேலேறி நீளத்தைக் குறைக்கிறது. இவ்விறக்கமும் ஏற்றமும் ஒன்றையொன்று ஈடு செய்யும்படி செய்திருப்பதால், நாலத்



படம் 168

தின் நீளம் வேறுபடாது. அதனால் கடியாரம் வேனிற் குளிர் ஆகிய பருவ வேறுபாட்டால் பாதிக்கப்படாமல் சீராக ஓடிக்கொண்டிருக்கும்.

சட்டகநாலம் (Gridiron pendulum) :—(படம் 169) நாலத்தின் குண்டு ஒரு சட்டகத்திற்குப்பொருத்தப் பட்டிருக்கிறது. இச் சட்டகத் தின் மேலுள்ள அ என்ற இடமே தொங்குமையம். சட்டகத்திலே கருநிறமாயிருப்பவை பித்தளைச் சட்டங்கள். வெண்ணிறமாய் இருப்பவை எஃகுச் சட்டங்கள். இவற்றின் அமைப்பை உற்று நோக்கினல் எஃகுச் சட்டங்கள் கீழ்நோக்கி நீளும்படி அமைந்திருப்பதும், பித்தளைச் சட்டங்கள் மேல்நோக்கி நீளும்படி அமைந்திருப்பதும் புலனாகும். எஃகுச் சட்டங்களின் மொத்த நீளம் $l$ ஆகவும், பித்தளைச் சட்டங்களின் மொத்த நீளம் $l_1$ ஆகவும் இருந்தால், $t$°c சூட்டு வேற்றுமையால் ஏற்படும் எஃகுச் சட்டங்களின் மொத்த நீட்சி $l \beta t$ ஆகும். இதில் $\beta$ எஃகின் நீட்சிப் பான்மையாகும். பித்தளைச் சட்டங்களின் மொத்த நீட்சி $l_1 \beta_1 t$.



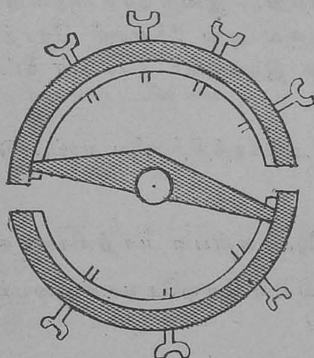
படம் 169

இதில் $\beta_1$ பித்தளையின் நீட்சிப்பான்மையாகும். எனவே நாலத்தின் நீளம் வேறுபடாதிருக்க வேண்டுமானல் $l\beta t = l_1\beta_1 t$. அதாவது $l\beta = l_1\beta_1$ ஆக இருக்கவேண்டும். எஃகு, பித்தளைகளின் நீட்சிப்பான்மைகள் முறையே 0·000011, 0·0000187 ஆகும். எனவே எஃகு, பித்த

ளைச் சட்டங்களின் மொத்த நீளங்கள் இவ்வெண்களுக்கு எதிர்விகிதமாக விருப்பின் நாலத்தின் நீளம் வேறு படாது. அதையுடைய கடியாரமும் பருவ வேறுபாட்டால் பாதிக்கப்படாமல் சீராக ஓடிக்கொண்டிருக்கும்.

பொதுவாக மரக்கட்டைகளின் நீட்சிப்பான்மைகள் உலோகங்களின் நீட்சிப்பான்மைகளை நோக்க மிகச் சிறியனவாம். ஆகவே தற்காலத்தில் மரச்சட்டத்தாலாகிய நாலங்கள் பெரிதும் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. 36% (சதவீதம்) நிக்கல்கொண்ட 'இன்வார்' எனப்படும் நிக்கல் எஃகுக் கலவையின் (alloy) நீட்சிப்பான்மை மிகச் சிறியதாம். ஆதலின் அது நாலங்கள் செய்வதற்கும், கட்டளை நீட்டலளவைக் கம்பிகள் செய்வதற்கும் பயன்படுகிறது. வானவியலுக்கு வேண்டிய மிகத் திருத்தமான அளவுகளைத் தவிர மற்றகாரியங்களுக்கெல்லாம் 'இன்வார்' நாலம் கொண்ட கடியாரங்களே போதுமானவை.

கைக்கடியாரத்தின் ஓட்டத்தை அடக்கியாளும் துலைச்சக்கரம் (Balance wheel) வேனில் வெப்பத்தால் சூடேறி அகற்சியடைகிறது. மற்றும் கடியாரத்தை ஓட்டும் நுண்ணிய விற்சுருளும் தன் நெகிழ்ச்சிவன்மையைச் சிறிது இழந்து விடுகிறது. இவ்விரண்டு காரணங்களாலும் கைக்கடியாரம் மெதுவாக ஓடுகிறது. இதை நீக்க ஒரு முறை கையாளப்படுகிறது. துலைச்சக்கரத்தின் விளிம்பு இரண்டு அல்லது


படம் 170

மூன்று வட்டைகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கிறது; (படம் 170). ஒவ்வொரு வட்டையும் உள்ளும் புறமுமான இரண்டு பட்டைகளாலானது. வெளிப்பட்டை உட்பட்டையைவிட உயர்ந்த நீட்சிப்பான்மை கொண்டது. இதனால் சூடேறும்போது இவ்வட்டைகள் உட்புறமாகக் கவிந்து வளைகின்றன. இதனால் சக்கரத்தின் நிறை நடுவிலுள்ள மையத்தை நோக்கி நகருகிறது. ஆகவே சக்கரத்தின் தளத்திற்கு நிமிர்வையாக மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் இருசுக்குரிய ஜடத்திறன் (moment of inertia) மிகுவதற்குப் பதிலாகக் குறைகிறது. எனவே சக்கரத்தின் அளவைகளையும் வட்டையின் மேலுள்ள திருகுகளின் நிலைகளையும் தக்கபடி சரிப்படுத்தி, விற்சுருளின் நெகிழ்ச்சிவன்மை வேறுபாட்டின் விளைவை ஈடுபடுத்திவிடலாம்; இதனால் கைக்கடியாரத்தையும் பருவ வேறுபாட்டால் பாதிக்கப்படாமல் சீராக ஓடச்செய்யலாம்.

உதாரணம் 1. ஈடு செய்யப்படாத எஃகு நாலத்தைக் கொண்டதொரு கடியாரம் $15^\circ c$ சூட்டிலே சரியான நேரத்தைக் காட்டுகிறது. இதை $25^\circ c$ சூடுள்ள இடத்திற்குக் கொண்டுபோனால் அது 24 மணி நேரத்தில் எத்தனை செகண்டுகளை இழக்கும்? (எஃகின் நீட்சிப்பான்மை ·000012).

சாமானிய நாலத்தின் அடுக்கத்திற்குரிய வாய்பாடு வருமாறு:—

$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$ இதில் $2\pi$, $g$ என்பன மாறிலிகளாதலால் அவற்றை யுள்ளடக்கிய $k$ என்ற ஒரே மாறிலியைக் கையாளலாம். அப்போது

$n = \frac{k}{\sqrt{l}}$ ஆகும்.

சூட்டுயர்வு $\theta$ என்றும் நீட்சிப்பான்மை $\alpha$ என்றும் கொண்டால் நாலத்தின் புதிய நீளம் $l(1+\alpha\theta)$ ஆகும். அப்போது அடுக்கம்

$$n' = \frac{k}{\sqrt{l\,(1+\alpha\theta)}}$$ ஆகும்.

எனவே, சூட்டுயர் வினுலேற்பட்ட நீட்சியால் நாலம் ஒரு செகண்டிலே $n\text{-}n'$ ஆட்டங்களை இழந்து விடும்.

24 மணிநேரத்திலே A செகண்டுகள் என்று கொண்டால், அந்த நேரத்திலே நாலம் $A(n\text{-}n')$ ஆட்டங்களை இழந்துவிடும். நாலம் ஒவ்வொரு ஆட்டத்தை இழந்தபோதும் கடியாரம் T என்ற ஒரு பொழுதின ளவு காலத்தை இழந்துவிடும்.

ஆகையால் 24 மணி நேரத்திலே கடியாரம் $A(n\text{-}n')\,T$ என்னும் காலத்தை இழந்துவிடும். ஆனால் பொழுது $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{\sqrt{l}}{k}$. எனவே கடியாரம் 24 மணி நேரத்திலே இழக்கும் நேரம்

$t = A(n\text{-}n')\,\frac{\sqrt{l}}{k}$. $n$, $n'$ என்பவற்றின் மதிப்புகளைக் ஈடிடவே கடியாரம் இழக்கும் நேரம்

$$t = A\left[\frac{k}{\sqrt{l}} - \frac{k}{\sqrt{l\,(1+\alpha\theta)}}\right]\frac{\sqrt{l}}{k}$$

$$= A\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+\alpha\,\theta}}\right]$$

இதிலே $A = 24\times60\times60$, $\alpha = \cdot000012$, $\theta = 10$ இவற்றை ஈடிடவே,

$$t = 24\times60\times60\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+\cdot000012\times10}}\right]$$

$$= 24 \times 60 \times 60 \left[1 - \frac{1}{1+\cdot 00006}\right]$$
$$= 24 \times 60 \times 60 \left[1 - (1 - \cdot 00006)\right]$$
$$= 24 \times 60 \times 60 \times \cdot 00006$$
$$= 5\cdot 2 \text{ செகண்டுகள்.}$$

எனவே எஃகு நாலத்தைக்கொண்டதொரு கடியாரம் $15°c$ சூட்டிலிருந்து $25°c$ சூட்டிற்கு மாற்றப்பட்டால் 24 மணி நேரத்தில் 5·2 செகண்டுகளை இழந்துவிடும்.

உதாரணம் 2. ஒரு ஈடிட்ட நாலம் இருப்புச் சட்டங்களாலும் பித்தளைச் சட்டங்களாலும் செய்யப்பட்டுள்ளது. இந்த உலோகங்களின் நீட்சிப்பான்மைகள் முறையே ·000012, ·000019 ஆகும். பித்தளைச் சட்டங்களின் மொத்த நீளம் 36·4 செ. மீட்டர்கள். இருப்புச் சட்டங்களின் நீளத்தைக் கணக்கிடுக.

ஈடிட்ட நாலத்திலே சூட்டினல் பித்தளைச் சட்டத்தில் ஏற்படும் நீட்சியும் இருப்புச் சட்டத்தில் ஏற்படும் நீட்சியும் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

எனவே, இருப்புச்சட்டங்களின் மொத்த நீளம் $l$ என்று கொண்டால்

$$36\cdot 4 \times \cdot 000019 = l \times \cdot 000012$$

ஆகையால் $l = \dfrac{36\cdot 4 \times 19}{12} = 57\cdot 63$ செ. மீ.

எனவே இருப்புச் சட்டங்களின் மொத்த நீளம் 57·63 செ. மீ. இருக்கவேண்டும்.

## வினாக்கள்

1. ஒரு திடப்பொருளின் பருமையகற்சிப் பான்மை அதன் நீட்சிப்பான்மையின் மும்மடங்காகும் என்று காட்டுக.

இவ்விரண்டு மாறிலிகளிலொன்றைக் காணுவதற் கான தொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

(ஆக்ஸ். 1934)

2. ஒரு தெளிவான படத்தைக்கொண்டு ஒரு சட்டத்தின் நீட்சிப்பான்மையைக் காணுவதற்காக ஆய்வுச் சாலையிலே செய்யக்கூடியதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக்கூறுக.

ஒரு செம்பு உருண்டையின் நிறை 1,000 கிராம். அதன் சூடு $15°c$-யிலிருந்து $500°c$-க்கு அதிகரிக்கப்பட்டால், (1) அதன் பருமையிலேற்படும் அகற்சியையும் (2) அதன் புறப்பரப்பிலேற்படும் அகற்சியையும் கணக்கிடுக. (செம்பின் ஒப்புச்செறிவு 8·93. செம்பின் நீட்சிப்பான்மை $= 0{\cdot}1607 \times 10^{-4}$)

(ஆந்திரா, மார்ச் 1933)

3. $15°c$ சூட்டில் 4·68 செ. மீ. விட்டம் கொண்டதொரு இருப்புக்குண்டு, அதே சூட்டிலே 4·67 செ. மீ. விட்டம்கொண்ட ஒரு நாக வளையத்தின் மீது நிற்கிறது. எந்த அளவுச் சூட்டிலே இருப்புக்குண்டு வளையத்தின் வழியாக நழுவி விழக்கூடும். இரும்பின் நீட்சிப் பான்மை ·000012. நாகத்தின் நீட்சிப்பான்மை ·000030.

4. ஒரு திடப்பொருளின் 'நீட்சிப்பான்மை' என்ற பதத்திற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு குழாயின் நீட்சிப்பான்மையை எவ்வாறு ஒரு பரிசோதனையால் காணலாமென்று விவரித்துக்

கூறுக. இதில் நாம் கவனிக்கவேண்டிய முன்னெச்ச ரிக்கைகளையும் விவரிக்க.

(சென்னை, செப். 1929)

5. ஒரு உலோகத்தின் நீட்சிப்பான்மையை எவ்வாறு காணலாமென்று எடுத்துக்கூறுக. இதற்கான கருவியையும் இதிலேற்படக்கூடிய பிழைகளையும் விவரித்துக்கூறுக.

ஒரு எஃகுத் தகட்டிலேயுள்ளதொரு வட்ட வடிவமான சந்திலே, அது 100°c சூட்டிலிருக்கும் போது 15°c சூடு கொண்டதும், 8 செ. மீ. விட்டம் கொண்டதுமான அலுமினியம் தகடு சரியாகப் பொருந்துகிறது. இவையிரண்டும் 15°c சூட்டிலே நின்றால் இவற்றினிடை வெளியின் பரப்பு யாதாகும்? அலுமினியத்தின் நீட்சிப் பான்மை 0·000017°c. எஃகின் நீட்சிப்பான்மை 0·000012°c.

(லண்டன், ஜுலை 1932)

6. சூட்டு வேற்றுமையால் கடியாரம் ஓடும் வேகம் எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகிறது என்பதை விவரித்துக் கூறவும். சூட்டு வேற்றுமையால் பாதிக்கப்படாதவாறு எவ்வாறு கடியாரத்தின் நாலங்கள் இயற்றப்படலாமென்பதையும் விளக்குக.

30°c சூட்டிலே 300 க. செ. மீ. பருமை கொண்டதொரு கலயம் 100°c க்குச் சூடேற்றப்பட்டது. பருமையில் ஏற்பட்ட அகற்சியைக் கணக்கிடுக. கண்ணாடியின் நீட்சிப்பான்மை 0·0000089.

(ரங்கூன் 1932.)

7. சூடு மாறுபாட்டினால் சாமானிய கடியாரங்களின் நாலங்கள் எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகின்றன என்று விளக்குக. ஏதேனுமொரு ஈடு செய்யப்பட்ட நாலத்தின் அமைப்பையும் செயல் முறையையும் விளக்குக.

$0°c$ சூட்டிலே 10 மீட்டர் நீளமுடைய எஃகுத் தண்டவாளங்கள் உட்படக்கூடிய உச்சநிலைச்சூடு $40°c$ என்று கொண்டு, அவை $15°c$ சூட்டிலே இணைக்கப்படும்போது அவற்றின் இடைவெளி யாதாக இருக்கவேண்டுமென்று காண்க. எஃகினது நீட்டிசிப்பான்மை $= 0·000011$ ஆகும்.

(சென்னை, மார்ச். 1924)

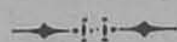
8. ஒரு திடப்பொருளின் நீட்சிப்பான்மை என்பதற்கு வரை விலக்கணம் கூறுக. ஆய்வுசாலையிலும் அன்றாட வாழ்க்கையிலும் திடப்பொருள்களின் அகற்சி எவ்விடங்களிலே தென்படுகின்றன ?

ஒரு எஃகு அளவியினால் $20°c$ சூட்டிலே அளந்தபோது ஒரு சட்டத்தின் நீளம் 320 செ. மீ. இருப்பதாகக் காணப்பட்டது. அந்த அளவி $0°c$ சூட்டிலே வகைப்பாடு செய்யப்பட்டதானால் அச்சட்டத்தின் சரியான நீளம் யாதாகும் ? (எஃகின் நீட்சிப்பான்மை $= ·000012$)

(ஆக்ஸ். 1929)

---

# அத்தியாயம் 3



## திரவப்பொருள்களின் அகற்சி
## (Expansion of liquids)

முன்னுரை :—திடப்பொருள்களைப் போலவே திரவப்பொருள்களும் சூடேற்றினால் அகற்சியடைகின்றன; சூடு குறைந்தால் சுருங்குகின்றன. ஆனால் திரவங்களுக்குத் திடப்பொருள்களைப் போல் நிலையான உருவம் இல்லை. அவை வைக்கப்பட்டிருக்கும் பாத்திரங்களின் உருவையே தாமும் கொள்ளுகின்றன. ஆகையால் திரவங்களின் நீட்சி அல்லது பரப்பு அகற்சியைப்பற்றிப் பேசுவது பொருளற்றதாகிறது. ஆனால் அவற்றிற்கும் பருமை அகற்சி உண்டு. எனவே ஒரு திரவத்தின் பருமை-அகற்சிப்பான்மைக்கு இலக்கணம் வருமாறு.

'ஒரு திரவத்தின் பருமை-அகற்சிப்பான்மை யாவது, ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள திரவத்திற்கு 1°$c$ சூடேற்றுவதால் ஏற்படும் பருமை-அகற்சிக்கும், அதே அளவு திரவம் 0°$c$ சூட்டில் கொண்ட பருமைக்கும் உள்ளத்தகவு ஆகும்.'

திடப்பொருள்களின் பருமை-அகற்சிப்பான்மைக் கூறிய விடத்திலும் இவ்வாறு 0°$c$ சூட்டில் கொண்ட பருமையை குறிப்பிட்டுக் கூறியிருக்கலாம். ஆனால் திடப்பொருள்களின் அகற்சிப்பான்மை மிகச்சிறிய தாகையால் இவ்வாறு குறிப்பிட்டுக்கூறுவது அவசிய மில்லாததாயிற்று. ஆனால் திரவங்களோ திடப் பொருள்களைவிட வெப்பம் ஏறுவதால் பல மடங்கு அதிக மாக அகற்சி அடைகின்றதாதலின் இங்கே 0°$c$ சூட்டில் கொண்ட பருமையை குறிப்பிட்டுக்கூற வேண்டியதா யிற்று. இதையொரு சிறு உதாரணத்தால் விளக்கலாம்.

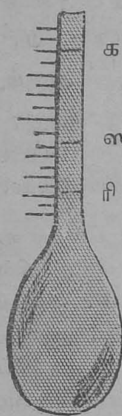
$0^\circ c$ யில் 10 க. செ. மீ. பருமைகொண்ட கண்ணுடி உருண்டை $30^\circ c$ யில் ஏறக்குறைய 10·0081 க. செ. மீ. பருமையை அடைகிறது. அதை மேலும் $1^\circ c$ சூடேற்றினுல் அதன் அகற்சி ·00027 க. செ. மீ. ஆகும். முற்கூறிய இலக்கணப்படி அகற்சிப்பான்மை $\frac{\cdot 00027}{10}$ ஆகும். இப்போது திருத்திய இலக்கணப்படி அது $\frac{\cdot 00027}{10\cdot 0081}$ ஆகும். இவ்விரண்டிற்கும் அதிக வேற்றுமை இல்லை.

திரவப்பொருளாகிய சாராயத்தில் $0^\circ c$ யில் 10 க. செ. மீ. எடுத்துக்கொள்வோம். இது $30^\circ c$ யில் 10·32 க. செ. மீ. பருமையை அடைகிறது. $1^\circ c$ சூடேற்றுவதால் ஏற்படும் அகற்சி ·011 க. செ. மீ. ஆகும். $0^\circ c$ யில் கொண்ட பருமையோடு ஒப்பிட்டால் அகற்சிப்பான்மை ·00110 ஆகிறது. $30^\circ c$ யில்கொண்ட பருமையோடு ஒப்பிட்டால் ·001006 ஆகிறது. இவ்விரண்டுக்கும் உள்ள வேற்றுமை எளிதில் புலனுகிறது.

ஆகையால் திரவங்களின் பருமை அகற்சிப்பான்மை காணும்போது $0^\circ c$ யில் கொண்ட பருமையோடு ஒப்பிட்டே கூறவேண்டும். வாயுப்பொருள்களின் அகற்சிப்பான்மை இன்னும் பெரியது. எனவே வாயுக்களின் அகற்சிப்பான்மையைக் காணும்போது இவ்விதியைப் பின்னும் கைக்கொள்ளவேண்டும்.

அகற்சிமானி (dilatometer). (படம் 171). அகற்சிமானி படத்தில் கண்டபடி நீண்ட கழுத்துள்ள ஒரு கண்ணுடிக் கலயமாகும். இதன் கழுத்து சீரான தொளையுடையது. மற்றும் அது வகைப்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இதிலே ஒரு திரவத்தை நிரப்புவோம். திரவமட்டம் ஸ-வில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். பவனச் சூட்டைவிட $t^\circ c$ அதிகமாகச் சூடுகொண்ட ஒரு

தொட்டி நீரில், அகற்சிமானியை முழுக்கி அதனுள்ளே திரவமட்டத்தை நன்கு கவனிப்போம். திரவமட்டம் முதலில் ரீ என்னும் இடம்வரையில் கீழி றங்கிப் பிறகு மேலேறி க என்னுமிடத்தை அடைகிறது. இதற்குக் காரணம் வரு மாறு :—முதலில் கண்ணாடிக் கலயத்தில் சூடேற அது அகன்றதால் திரவமட்டம் கீழிறங்கிற்று. பிறகு சூடு உள்ளே இருக் கும் திரவத்தையும் தாக்கவே அதுவும் அகற்சியடைகிறது. திரவத்தின் அகற்சி கண்ணாடியின் அகற்சியைவிடப் பல மடங்கு பெரிதாகையால், திரவ மட்டம் மேலேறி க என்னும் நிலையை அடைகிறது. ஸ என்ற பிரிவுவரை கலயத்தின் பருமை V க. செ. மீ. என்று கொண்டால், கலயத்தின் அகற்சி $V(1+\gamma t)$ ஆகும். இதில் $\gamma$ கண்ணாடியின் அகற்சிப்பான்மை. இது ஏறக்குறைய ஸ ரீ-க்கு இடைப்பட்ட பருமையாகும். திரவத்தின் அகற்சி $V(1+\alpha t)$ ஆகும். இதில் $\alpha$ திரவத்தின் அகற்சிப்பான்மை. இது ஏறக்குறைய ரீ, க வுக்கு இடைப்பட்ட பருமையாகும். நாம் உற்றுக் கவனிக்கா விடில் திரவத்தின் அகற்சி ஸ, க வுக்கு இடைப் பட்ட பருமை எனக் கொள்வோம். இது திரவத்தின் தோற்ற அகற்சி (apparent expansion) எனப்படும். இதையடியாகக்கொண்ட தோற்ற அகற்சிப்பான்மை (co-efficient of apparent expansion) என்று ஒன் றுண்டு. அதன் இலக்கணம் வருமாறு.



படம் 171

'ஒரு திரவத்தின் தோற்ற அகற்சிப்பான்மை யாவது, ஓர் அலகுப் பருமைகொண்ட திரவத்தின் சூடு **0°c** இருந்து **1°c** க்கு உயர்த்தப்படுவதால் ஏற்படும் தோற்ற அகற்சியாம்'.

தோற்ற அகற்சியை $\alpha'$ என்று குறித்தால் கீழ்க் கண்ட உறவு ஏற்படும்.

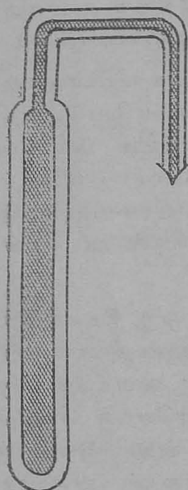
$\alpha' = \alpha - \gamma$, அல்லது $\alpha = \alpha' + \gamma$. இதில் $\alpha$ உண்மை அகற்சிப்பான்மை ; $\gamma$ கண்ணாடியின் அகற்சிப்பான்மை.

ஒரு திரவத்தின் உண்மை அகற்சிப்பான்மை யானது அதன் தோற்ற அகற்சிப்பான்மையோடு, அத் திரவம் வைக்கப்பட்டிருக்கும் பாத்திரத்தின் அகற்சிப் பான்மையைக் கூட்டவரும் தொகையாம். இதைத் தனியியல் அகற்சிப்பான்மை (absolute co-efficient) யென்றும் அல்லது கேவல அகற்சிப்பான்மை யென் றும் கூறுதலும் உண்டு.

ஒரு அகற்சிமானியினுதவியினுல் ஒரு திரவத்தின் தோற்ற-அகற்சிப்பான்மையைக் காணுவதற்கு முன் (1) வகைப்பாட்டின் அடிவரையுள்ள கலயத்தின் பரு மையையும் (2) வகைப்பாட்டின் ஒவ்வொரு பிரிவிற் கிடைப்பட்ட பருமையையும் அறியவேண்டும். இவற்றை அறியும் முறை வருமாறு :—கலயத்தைக் காலியாக வைத்து அதன் எடை காணவும். கலயத்தை வகைப் பாட்டின் அடிவரை பாதரசத்தால் நிரப்பி எடை காண வும். பாதரசத்தை வகைப்பாட்டின் முடிவு வரை நிரப்பி எடை காணவும். முதலிரண்டு எடைகளுக்குள்ள வேற் றுமையைப் பாதரசத்தின் செறிவால் வகுக்க, கலயத் திலே வகைப்பாட்டின் அடிவரையுள்ள பருமை கிடைக் கும். பின்னிரண்டு எடைகளின் வேற்றுமையை அதே செறிவால் வகுக்க வகைப்பாடு செய்யப்பட்ட மொத்த இடத்தின் பருமை கிடைக்கும். இதை வகைப்பாட்டி லுள்ள பிரிவுகளின் எண்ணிக்கையால் வகுக்க ஒவ்வொரு பிரிவுக்கும் இடைப்பட்ட பருமை கிடைக்கும்.

எடை உஷ்ணநிலைமானி (weight thermo-meter) :—(படம் 172). எடை உஷ்ணநிலைமானி என்

னும் கருவியால் திரவங்களின் தோற்ற அகற்சிப்பான்மையைக் காணலாம். படத்தில் கண்டபடி இக்கருவி ஒரு சிறியகண்ணாடிப் பாத்திரம். புழைகொண்ட இதன் கழுத்து நீண்டு வளைந்திருக்கிறது. இதைக்கொண்டு ஒரு திரவத்தின் அகற்சிப்பான்மையைக் காணும் முறை வருமாறு :—



படம் 172

முதலில் காலியான எடை உஷ்ணநிலைமானியின் நிறையைக் கண்டுபிடிக்கவும். அதில் திரவத்தை முழுதும் நிரப்பி, அதே திரவம் கொண்ட ஒரு சிறு தொட்டியில் நன்ருக முழுக்கிப் பல முறை மாறி மாறி வெப்பம் ஏற்றிக் குளிர வைக்கவும். கடைசியாக முற்றும் குளிர்ந்து ஆய்வுச் சாலையின் சூட்டை அடைந்தவுடன் அதை எடுத்து அதன் வெளிப்புறத்தை நன்ருகத் துடைத்துச் சுத்தி செய்து, மறுபடியும் அதை நிறுக்கவும். இவ்விரண்டு நிறைகளின் வித்தியாசமாகிய $m$, எடுத்துக்கொண்ட திரவத்தின் நிறையாகும். மானியை ஒரு சிறிய நீர்த்தொட்டியில் முழுக்கி வைத்துக் காய்ச்சி அதற்கு $t°C$ சூடேற்றவும். கண்ணாடிக் கலயத்தைவிட அதிலுள்ள திரவம் அதிகமாக அகற்சியடைவதால் சிறிது திரவம் வெளியே தள்ளப்படும். மானியை வெளியிலெடுத்துத் துடைத்து சுத்தம்செய்து நன்ருக ஆறியவுடன் நிறுக்கவும். இந்த நிறைக்கும் முதல் நிறைக்கும் உள்ள பேதமாகிய $m'$ இப்போது கலத்தில் மிகுந்துள்ள திரவத்தின் நிறையாகும்.

எடை உஷ்ணநிலைமானி நிறைந்திருந்தபோது அதிலுள்ள திரவத்தின் பருமை V க. செ. மீ. என்றும், முடிவில் அதில் மிகுந்துள்ள திரவத்தின் பருமை V′ க. செ. மீ. என்றும் கொள்வோம். ஆய்வுச்சாலையின் சூட்டில் V′ க. செ. மீ. பருமைகொண்ட திரவமே $t°c$ சூடேறியபோது V க. செ. மீ. பருமையை அடைந்து கண்ணாடிக் கலயம் முழுவதும் நிறைந்து நின்றது என்பது எளிதில் புலனாகும். எனவே அத்திரவத்தின் அகற்சிப் பான்மை வருமாறு :—

$$\alpha = \frac{V - V'}{V' t}.$$

மானி நிறைந்திருந்த திரவத்தின் நிறை $m$-ஐக் கண்டபோதும், அதில் மிகுந்து நின்ற திரவத்தின் நிறை $m'$-ஐக் கண்டபோதும் அது ஒரே சூட்டில் இருந்தமையால், திரவத்தின் செறிவும் மாறாதிருக்கும். எனவே V, V′ முறையே $m$, $m'$ களுக்கு ஏற்ப நேர் விகிதமாகவிருக்கும். ஆகையால் திரவத்தின் தோற்ற அகற்சிப்பான்மையைக் கீழ்க்கண்டவாறும் எடுத்துரைக்கலாம்.

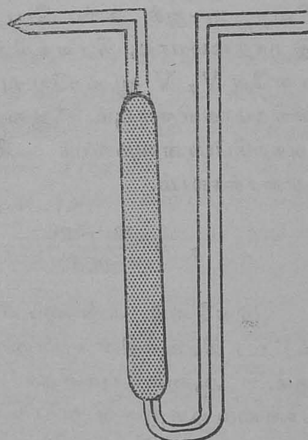
$$\alpha = \frac{m - m'}{m' t}.$$

இதனோடு கண்ணாடியின் அகற்சிப்பான்மையைக் கூட்ட, திரவத்தின் உண்மை-அகற்சிப்பான்மை கிடைக்கும். ஆனால் பலவிதக் கண்ணாடிகளின் அகற்சிப் பான்மை ஒன்றாக விருப்பதில்லை. ஆகையால் ஒவ்வொரு எடை உஷ்ணநிலைமானிக்கும், அதற்குரிய அகற்சிப்பான்மையை முன்னால் காணவேண்டியது அவசியம். இதைக் காண்பதற்கு அந்த மானியைக் கொண்டு பாதரசத்தின் தோற்ற அகற்சிப்பான்மை கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. பாதரசத்தின் உண்மை-அகற்சிப்பான்மையை நாம்

73

திருத்தமாக அறிவோம். ஆதலின் இதற்கும் நாம் கண்ட தோற்ற அகற்சிப்பான்மைக்கும் உள்ள பேதமே மானியின் அகற்சிப்பான்மையாகும். பாதரசத்தின் அகற்சிப்பான்மை மற்ற திரவங்களின் பான்மைகளை விடச் சிறியது. ஆகையால் உஷ்ணநிலைமானியின் அகற்சியின் விளைவு நன்றாகத் தெரிகிறது. எனவே பாதரசமே இவ்வேலைக்கு மிகவும் ஏற்றது.

உருக்கிய பளிங்கின் (Silica) அகற்சிப்பான்மை மிகச்சிறியது. பாதரசத்தின் அகற்சிப்பான்மையில் அது நூற்றில் ஒரு பங்கே உள்ளது. ஆகையால் இப் பளிங்காலான கலங்களை யுபயோகிக்கும்போது அக்கலங்களின் அகற்சியைப் பொருட்படுத்தாமல் தள்ளி விடலாம்.



படம் 173

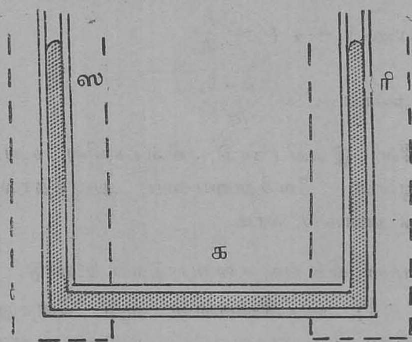
படத்திலே எடை உஷ்ணநிலை மானியினின்றும் சிறிது மாறுபட்டுள்ள ஒரு கருவி காட்டப்பட்டுள்ளது. (படம் 173). இதன் பெயர் பைக்னுமீடர் (Pyknometer). இதுவும் ஒரு வகை எடை உஷ்ணநிலை மானியே. அதன் கூரான முனையைத் திரவத்தினுள் முழுக்கி, மற்றொரு முனையிலே ஒரு ரப்பர்க் குழாயை இணைத்து, அதன் வழியாக உறிஞ்சி இதிலே திரவம் நிரப்பப்படும்.

எடை உஷ்ணநிலைமானிக்குப் பதிலாக சிறிய செறிவுக் கலத்தை உபயோகிக்கலாம். ஆனால் இப்

போது மூடியிலுள்ள துவாரத்தின் வழியாக வெளி வரும் திரவத்தை அவ்வப்போது ஒரு உறுஞ்சுதாளால் (Blotting paper) துடைத்து வரவேண்டும்.

**பாதரசத்தின் உண்மை-அகற்சிப்பான்மை:—** பாதரசத்தின் உண்மை-அகற்சிப்பான்மையை நேரே கண்டுபிடிப்பதற்கு 1816-ம் ஆண்டில் ட்யூலாங், பெடிட் (Dulong & Petit) என்னும் இரண்டு விஞ்ஞானிகள் ஒரு முறையைக் கையாண்டனர். அம்முறையின் தத்துவம் வருமாறு:

(படம் 174) படத்தில் கண்டபடி ஸ, ரி என்னும் குழாய்களிலும், க என்னும் புழை நாளத்திலும் பாத




படம் 174

ரசம் நிரம்பி இருக்கிறது. ஸ, ரி இரண்டும் உலோக உருளைகளால் சூழப்பட்டிருக்கின்றன. ஸ வைச் சூழ்ந்துள்ள உருளையில் பனிக்கட்டித் துணுக்குகள் நிரம்பி இருக்கின்றன. ரி-யைச் சூழ்ந்துள்ள உருளையில் உயர்ந்த சூடு தாங்கக்கூடிய ஏதேனுமொரு திரவம் நிரம்பியிருக்கிறது. அதைக் காய்ச்சி அதற்கு $t^{\circ}C$ சூடு ஏற்றப்படுகிறது. ஸ-விலுள்ள பாதரசநிரையின்

உயரமும், அதன் செறிவும், முறையே $h_0$, $\rho_0$ என்றும் ரீ யிலுள்ள பாதரச நிரையின் உயரமும், அதன் செறிவும் முறையே $h$, $\rho$ என்றும் கொள்வோம். இவ்விரண்டு நிரைகளும் துலைப்பட்டு நிற்பதால்

$$h_0 \, g \, \rho_0 = h \, g \, \rho$$

அல்லது $h_0 \, \rho_0 = h \, \rho$

ஆனால் $\rho = \dfrac{\rho_0}{1 + \alpha t}$ என்று நாம் முன்பே கண்டோம்.

ஆகையால் $\dfrac{h_0 \, \rho_0}{h} = \dfrac{\rho_0}{1 + \alpha t}$

அல்லது $h_0 (1 + \alpha t) = h$

அல்லது $1 + \alpha t = \dfrac{h}{h_0}$

ஆகையால் $\alpha = \dfrac{h - h_0}{h_0 \, t}$

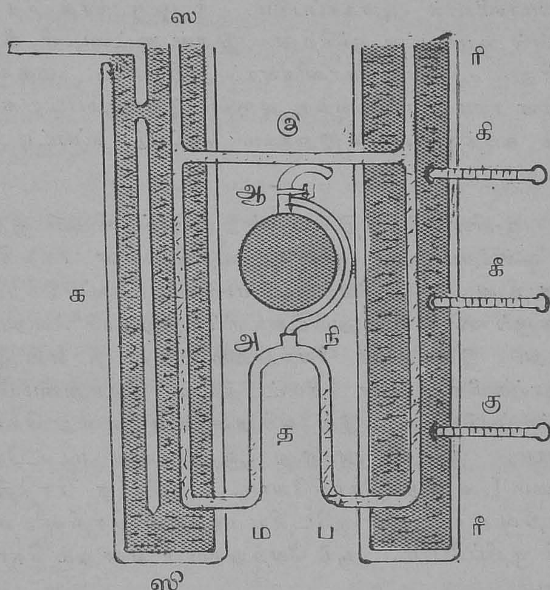
எனவே, இவ்விரண்டு நிரைகளின் உயரங்களுக்கிடையேயுள்ள வேற்றுமையை அளந்தால் $\alpha$ வின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

இம்முறையில் பல குறைபாடுகள் உண்டு. அவைகளாவன :—(1) ஸ, ரீ-க்களின் சூடு வேற்றுமையால் அவற்றினிடையே திரவஓட்ட அருவிகள் ஏற்பட்டன. இதை நீக்க க-வில் சிறிது பஞ்சை அடைத்துவைத்த போதும், இவ்வருவிகளை முற்றிலும் போக்கமுடியவில்லை. (2) இச்சூடு வேற்றுமையால் பாதரசத்தின் பரப்பு இரண்டு குழாய்களிலும் வேறுபட்டு, அதனால் ரசமட்டப் பரப்பின் உருவமும் வேறுபட்டது. இது இக்குழாய்களில் ரசநிரையின் உயரத்தையும் பாதித்தது.

இவற்றையெல்லாம் நிவர்த்திசெய்து 1842-ல் ரீனோ (Regnault) பாதரசத்தின் பருமை-அகற்சியை அளந்து

கணக்கிட்டார். அதன் பிறகு காலண்டர் (Calender) என்பவர் இம்முறையைப் பின்னும் சீர்திருத்தினர்.

ரீஞேவின் முறை:—(படம் 175) ஸஸி, ரிரீ என்பன ஏறக்குறைய 15 செ. மீ. நீளமும் 1 செ. மீ. விட்டமும் உள்ள இருப்புக் குழாய்கள். மத, புநி என்பன




படம் 175

இவற்ருேடு பொருத்தப்பட்ட கண்ணடிக் குழாய்கள். இவையிரண்டும் ஒன்றுசேர்ந்து அ என்னும் ரப்பர்க் குழாயால் ஆ என்னும் காற்றுக் கலத்தோடு சேர்க்கப் பட்டிருக்கின்றன. ஆ-வினுள் காற்று இறுக்கிவைக்கப் பட்டிருக்கிறது. இ என்பது இரண்டு இருப்புக் குழாய்

களையும் சேர்க்கிறது. இதன் வாய் அகலம் ஏறக்குறைய 3 மி. மீ. இருக்கும். இதன் நடுவில் இ என்றவிடத்தில் ஒரு துவாரம் இருக்கிறது. அதனால் இருப்புக் குழாய் களில் ரசநிரையின் மட்டம் இ க்கு மேல் எழும்புவ தில்லை. ஸ ஒரு எண்ணெய்த் தொட்டியால் சூழப்பட் டிருக்கிறது. இதன் சூடு க என்னும் ஒரு காற்று உஷ்ண நிலைமானியால் அளக்கப்படும். ரீ ஒரு நீர்த் தொட் டியால் சூழப்பட்டிருக்கிறது. இதன் சூட்டை கி, கீ, கு என்னும் உஷ்ணநிலைமானிகளால் அறியலாம். மத வில் உள்ள ரசமட்டம் ம வுக்கு அருகில் இருக்கும்படி, காற் றுக் கலத்திலுள்ள இறுக்கம் சரிப்படுத்தப்பட்டிருக் கிறது.

இ-யின் மட்டத்தில் இரண்டு குழாய்களிலும் இறுக் கம் ஒன்றேயாகும். ஆனால் இவற்றிலுள்ள ரசத்தின் செறிவு, சூடு வேற்றுமையால் பாதிக்கப்படுகிறது. அதனால் ஸி, ரீ என்னுமிடங்களில் இறுக்கம் வேறுபடு கிறது. இவ்விறுக்க வேற்றுமை மத, பநி என்னும் குழாய்களில் உள்ள ரசமட்டத்தின் வேற்றுமையால் காட்டப்படுகிறது. இவ்வேற்றுமையை $l$ என்று கொள் வோம். இ, ஸி அல்லது இ, ரீ-களின் மட்டவேற் றுமை L என்று கொள்வோம். குளிர்ந்த ரசத்தின் செறிவு $\rho_0$ என்றும், சூடேறிய ரசத்தின் செறிவு $\rho$ என் றும் குறிப்போம். சூடு வேற்றுமை $t^\circ$ என்றும் கொள் வோம்.

$$Lg\,\rho_0 - Lg\rho = lg\,\rho_0$$

அல்லது $L\,\rho = L\rho_0 - l\rho_0$

அதனால் $\rho = \left[\frac{L-l}{L}\right]\rho_0$

ஆனால் $\rho = \frac{\rho_0}{1+\alpha t}$ என்று முன்பே கண்டோம்.

ஆகையால் $\frac{1}{1+\alpha t} = \frac{L-l}{L}$

அல்லது $1 + \alpha t = \frac{L}{L-l}$

$\therefore \alpha = \frac{l}{(L-l)\, t}$

**ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தால் திரவத்தின் பருமை அகற்சி காணல்** :—கண்ணாடி மூடி போன்ற ஒரு திடப் பொருளை (1) காற்றிலும் (2) $t_1°c$ சூடு கொண்ட திரவத்திலும் (3) $t_2°c$ சூடு கொண்ட திரவத்திலும் நிறை காணுவோம். ஆர்கிமிடியின் தத்துவத்தால் $m_1$, $m_2$ என்னும் நிறைக் குறைவுகள் முறையே $t_1°c$ சூட்டிலும் $t_2°c$ சூட்டிலும் வெளித்தள்ளப்பட்ட திரவத்தின் நிறைகள் என்பதை யறிவோம். $\rho_1$, $\rho_2$ இவையிரண்டும் முறையே $t_1°c$ சூட்டிலும் $t_2°c$ சூட்டிலும் திரவத்தின் செறிவுகள் எனக்கொள்வோம். $\alpha$, திரவத்தின் அகற்சிப்பான்மையென்றும், $\gamma$, திடப் பொருளின் அகற்சிப் பான்மையென்றும் குறிப்போம். இவ்விரண்டு சூடுகளிலும் திடப்பொருளின் பருமைகள் முறையே $\frac{m_1}{\rho_1}$, $\frac{m_2}{\rho_2}$ ஆகும். $\gamma$ அதன் அகற்சிப்பான்மை யாதலால்

$$\frac{m_2}{\rho_2} = \left\{1 + \gamma\,(t_2 - t_1)\right\}\frac{m_1}{\rho_1}$$

ஆனால் $\rho_2 = \frac{\rho_1}{1+\alpha\,(t_2-t_1)}$ என்று முன்பே கண்டோம்.

இவ்விரண்டு இணைவுகளையும் பெருக்க

$$m_2 = m_1 \times \frac{1+\gamma\,(t_2-t_1)}{1+\alpha\,(t_2-t_1)}$$

அல்லது $\frac{m_2}{m_1} = \frac{1+\gamma\,(t_2-t_1)}{1+\alpha\,(t_2-t_1)}$

எனவே, $m_1$ $m_2$ இவையிரண்டையும் பரிசோதனையால் கண்டு $\gamma$ வின் மதிப்புத் தெரிந்தால் $\alpha$ வையும் $\alpha$ வின் மதிப்புத் தெரிந்திருந்தால் $\gamma$ வையும் கணக்கிடலாம். ஒரே திரவத்தின் அகற்சிப் பாண்மையை வெவ்வேறு சூடுகளில் காண்பதற்கு இம்முறை பெரிதும் பயன்படும்

வெவ்வேறு சூடுகளில் திரவங்களின் அகற்சிப் பான்மை :—திரவங்களின் சூடு ஒரே அளவில் அதிகரித்தாலும் வெவ்வேறு சூடுகளில், அவற்றின் அகற்சி ஒரே அளவினதாக விருப்பதில்லை. உதாரணமாகத் தண்ணீரை $40^\circ c$ யிலிருந்து $50^\circ c$ க்கு சூடு ஏற்றினால் ஏற்படும் அகற்சியை விட, அதே தண்ணீரை $80^\circ c$ யிலிருந்து $90^\circ c$ க்கு சூடேற்றினால் ஏற்படும் அகற்சி ஏறக்குறைய மூன்று மடங்காகிறது. ஆனால் இவ்விரண்டிலும் $10^\circ c$ சூடே அதிகரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. சாராயம் முதலிய பல திரவங்களிலும் இவ்வாறே நடப்பதாகத் தெரிகிறது. ஆனால் பாதரசத்தில் இவ்வாறு அதிக வேற்றுமை இல்லை. மேலும் நாம் $1^\circ$ சூட்டிற்கு இலக்கணம் கூறிய போதே, பாதரசத்தில் ஒரேயளவு அகற்சியை உண்டாக்குவதற்கு வேண்டிய சூடு மாறுபாடு என்று வரையறுத்துக் கூறிவிட்டதால், இப்படிப்பட்ட வேற்றுமை எழுவதற்கு இடமில்லாமல் செய்துவிட்டோம். சாராய உஷ்ணநிலைமானியை வகைப்பாடு செய்யும் போது முதலில் மாறுநிலைகளைக் குறித்துக்கொண்டு, அவற்றிற்கு இடைப்பட்ட தூரத்தை சமபாகங்களாக வகுப்பதில்லை. ஒரு பாதரச உஷ்ணநிலைமானியோடு அவ்வப்போது ஒப்பிட்டு, ஒவ்வொரு பாகைப் பிரிவும் சாராய உஷ்ணநிலைமானியில் குறிக்கப்படும். எனவே, சாராய உஷ்ணநிலைமானியில் ஒவ்வொரு பிரிவிற்கும் இடைப்பட்ட தூரம் சமமாய் இராது. தாழ்ந்த மாறுநிலைக்கு ($0^\circ c$) அருகில் பிரிவுகள் நெருங்கியும், அங்கிருந்து மேலே செல்லச் செல்ல பிரிவுகள் விரிந்தும் இருக்

கும். உயர்ந்த மாருநிலைக்கு (100°c) அருகில் பிரிவுகள் மிக அகன்று இருக்கும்.

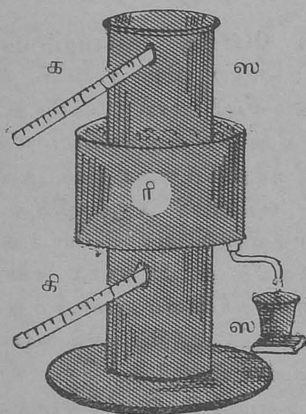
இக்காரணத்தால் திரவங்களின் அகற்சிப்பான்மையைக் குறிப்பிடும்போது, அதனுடன் அது அளக்கப்பட்ட சூட்டையும் சேர்த்துக் கூறவேண்டும். சூட்டைக் குறிப்பிடாமல், அகற்சிப் பான்மையை மட்டும் குறிப்பிடுதல் பொருளற்றதாகும். ஆனால் பொதுவாக திரவங்களின் அகற்சிப்பான்மை என்று குறிப்பிடுவது 0°c யிலிருந்து 100°c வரைக்கும் உள்ள அகற்சிப் பான்மையின் பொதுமை மதிப்பேயாகும்.

தண்ணீரின் விபரீதப் போக்கு (anamolous behaviour of water):—மற்ற திரவங்களைவிடத் தண்ணீரின் போக்குப் பின்னும் விபரீதமாய் இருக்கிறது. பனியிளகிய நீருக்கு நாம் சிறிது சிறிதாக வெப்பம் ஏற்றினால், முதலில் அது 0°c-லிருந்து 4°c வரை சூடேறுவதால் அகற்சியடைவதற்குப் பதிலாகச் சுருங்குகிறது. 4°c க்கு மேலே வெப்பம் ஏற்றினால் அகற்சியடைந்து கொண்டே போகிறது. இவ்வித நடத்தையால் தண்ணீரின் செறிவு 4°c யில் ஒரு உச்சநிலையை அடைகிறது. இதனால்தான் செ. கி. செ. திட்டத்தில் நிறையின் அலகை, இந்த 4°c சூட்டில் உள்ள 1 க. செ. மீ. தண்ணீரின் நிறையென்று ஏற்படுத்தி இருக்கிறார்கள். எனவே இதே சூட்டில் தண்ணீரின் செறிவும் ஓர் அலகு ஆகிறது.

தண்ணீர் 4°c சூட்டில் உச்சநிலைச் செறிவை அடைகிறது என்பதை 'ஹோப்' என்பவர் இயற்றிய கருவியினுதவியால் எளிதில் காட்டலாம். (படம் 176). படத்தில் கண்டபடி ஸஸ என்னும் கண்ணுடி அல்லது தகர உருளை, ரி என்னும் உருளையால் இடையிலே சூழப்பட்டிருக்கிறது. ஸஸ வில் தண்ணீர் நிறைந்திருக்கிறது.

ரீ என்னும் கலம் உப்போடு கலந்த சிறிய பனிக்கட்டித் துண்டுகளால் நிரம்பியிருக்கிறது. உருகிய நீரெல்லாம் கீழேயுள்ள தூம்பின் வழியாகக் கண்ணாடிக் குவளையில் விழுகிறது. க, கி என்பவை இரு உஷ்ணநிலைமானிகள்.

முதலில் சாடியிலுள்ள நீர் சுமார் 30°C சூட்டிலிருக்கிறது. பனிக்கட்டித் துண்டுகளை நிரப்பியவுடன் சூடு குறைந்து, நீரின் செறிவு அதிகரிக்க அந்நீர் கீழே செல்கிறது. இதனால் கி என்னும் மானியின் வாசகம் குறைந்துகொண்டே போகிறது. 4°C சூட்டை அடைந்தவுடன் அதற்குக் கீழே போகாமல் நின்றுவிடுகிறது. இதைவிடக் குளிர்ந்த நீரின் செறிவு குறைவாதலால், குளிர்ந்த நீரெல்லாம் மேல் நோக்கி எழுகின்றது. இதனால் க என்னும் மானியின் வாசகம் குறைய ஆரம்பிக்கிறது. இது 4°C ல் நின்றுவிடாமல் அதற்குக் கீழேயும் செல்லுகிறது. இதனால் தண்ணீரின் செறிவு 4°C சூட்டில் உச்ச நிலையை அடைகிறது என்று தெரிந்துகொள்ளுகிறோம்.




படம் 176

இவ்வாறு தண்ணீர் 4°C சூட்டில் உச்ச நிலைச் செறிவை அடைவதால்தான், குளிர் நாடுகளில் நீரில் வாழும் பிராணிகளும், பூண்டுகளும் உயிர் வாழ்வது சாத்தியமாகிறது. அந்நாடுகளில் குளிர் காலத்தில் நீரின் சூடு குறைந்து, ஏரி, குளம், ஆறு முதலியவை

களில் மேற்பரப்பு உறைந்துபோவது வழக்கம். ஆனால் $4^{\circ}c$ சூடுகொண்ட கனமான தண்ணீர் அடியில் தங்கி யிருக்கும். இதைவிட குளிர்ந்த நீரும் பனிக்கட்டியும் இலேசானவையாதலால், அவை மேற்பரப்பை மட்டுமே மூடி நிற்கும். இதனால் உள்ளிருக்கும் நீரெல் லாம் உறைவதில்லை. அவ்வாறு ஆறு, குளங்களில் உள்ள நீர் முழுவதும் உறைந்துவிட்டால், வேனிற் காலவெப்பமுழுதும் அதை உருக்குவதற்குப் போதாது நீரில் வாழும் மீன் முதலிய பிராணிகளும், நீர்ப்பூண்டு களும் நீர் உறைவதால் நசுக்கப்பட்டிறந்துவிடும்.

சூட்டினால் ஏற்படும் அகற்சிக்காக பாரமானியின் வாசகத்தில் செய்யவேண்டிய திருத்தங்கள் :—நாம் பவன இறுக்கத்தை பாரமானியால் அளக்கிறோம். பாரமானியிலுள்ள ரசநிரையின் நீளம் சூட்டினால் வேறுபாடடையும். அவ்வாறே அதை யளக்கும் உலோக அளவியின் நீளமும் வேறுபடும். இவையெல் லாம் $0^{\circ}c$ க்கு கட்டளைப்படுத்தப்பட்டிருப்பதால், நாம் அளவிடும்போது இருக்கும் சூட்டுக்கு ஏற்ற திருத் தத்தைச் செய்யவேண்டியது அவசியமாகிறது.

$t^{\circ}c$ சூட்டில் ரசநிரையின் உண்மையான நீளம் H என்றும், அளவியில் நாம் கண்ட நீளம் $h$ என்றும், அளவி ஆக்கப்பட்ட உலோகத்தின் நீட்சிப்பான்மை $\alpha$ என்றும் கொள்வோம். அளவியில் கண்ட ஒவ் வொரு செ. மீட்டரின் உண்மையான நீளம் $1+\alpha t$ செ. மீட்டர். எனவே,

$$H = h(1 + \alpha t)$$

$0^{\circ}c$ சூட்டில் ரசநிரையின் நீளம் $H_0$ ஆனால், $t^{\circ}c$ சூட்டில் அதன் நீளம் $H_0(1 + \gamma t)$ ஆகும்.

ஆகையால் $H_0(1 + \gamma t) = H$

ஆனால் $H = h(1 + \alpha t)$ என்று முன்பு கண்டோம்.

ஆகையால் $H_0(1 + \gamma t) = h(1 + \alpha t)$

அல்லது $H_0 = \dfrac{h(1+\alpha t)}{(1+\gamma t)}$

$\gamma$ மிகச்சிறியதாகையால்

$$H_0 = h(1 + \alpha t)(1 - \gamma t)$$
$$= h(1 + \alpha t - \gamma t - \alpha \gamma t)$$

$\gamma\ \alpha$ மிகச்சிறியனவாகையால் $\gamma \alpha t$ ஐ புறக்கணித்து விடலாம். அதனால் $H_0 = h\left\{1 - (\gamma - \alpha)t\right\}$

பாரமானியின் வாசகம் $h$ செ. மீ. ஆனால் உண்மையான பவன இறுக்கம்.

$h\left\{1 - (\gamma - \alpha)t\right\}$ செ. மீ. ரசநிரை ஆகும்.

பாரமானியின் அளவி பித்தளையாலாகி இருப்பதாகக் கொள்வோம். அவ்வாறாயின்

$$\alpha = \cdot 000020\ ;\ \gamma = \cdot 000182$$

ஆதலின் $H_0 = h(1 - 0{\cdot}000162\,t)$ ஆகும்.

உதாரணம் 1. எடை உஷ்ணநிலைமானியிலே $0°c$ சூடு கொண்ட 100 கிராம் பாதரசம் இருக்கிறது. இதன் சூட்டை $100°c$-க்கு அதிகரித்தபோது 1·72 கிராம் ரசம் வெளியேறிற்று. பாதரசத்தின் தனியியல் அகற்சிப்பான்மை 0·00018 ஆகும். உஷ்ணநிலைமானி செய்யப்பட்ட பொருளின் அகற்சிப் பான்மையைக் கணக்கிடுக.

திரவத்தின் தோற்ற அகற்சிப்பான்மை

$$\alpha = \frac{m_1 - m_2}{m_2 (t_2 - t_1)}$$

இதிலே $m_1 = 100$ கிராம்.

$m_2 = 100 - 1{\cdot}72 = 98{\cdot}28$ கிராம்.

$t_2 = 100^\circ c\ ;\ t_1 = 0^\circ c.$

இவற்றை மேற்கண்ட வாய்பாட்டிலிடவே

$$\alpha = \frac{1{\cdot}72}{98{\cdot}28 \times 100} = {\cdot}0001752.$$

கலத்தின் அகற்சிப்பான்மை

= ரசத்தின் தனியியல் அகற்சிப்பான்மை

— அதன் தோற்ற அகற்சிப்பான்மை

$= {\cdot}0001800 - {\cdot}0001752.$

$= {\cdot}0000048$ ஆகும்.

எடை உஷ்ணநிலைமானி செய்துள்ள பொருளின் அகற்சிப்பான்மை ·0000048 ஆகும்.

உதாரணம் 2. ஒரு செறிவுக்கலத்திலே $10^\circ c$ சூடுகொண்ட 100 கிராம் டர்பென்டைன் இருந்தது. இதை $100^\circ c$ சூட்டிற்குக் காய்ச்சியதால் 8·3 கிராம் டர்பென்டைன் வெளியேறிவிட்டது. இத்திரவத்தின் அகற்சிப்பான்மை யாதாகும்? கண்ணாடியின் அகற்சிப்பான்மை $7{\cdot}2 \times 10^{-6}$

காய்ச்சியபின்னர் கலத்தில் எஞ்சிய திரவம்

$100 - 8{\cdot}3 = 91{\cdot}7$ கிராம்.

$100^\circ c$ சூட்டிலே இதே திரவம் கலத்தை நிரப்புகின்றது. $10^\circ c$ சூட்டிலே 100 கிராம் திரவம் கலத்தை நிரப்பிநின்றது. இதற்குரிய வாய்பாடு வருமாறு.

$$\alpha = \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2 - t)}$$

இதிலே $m_1$ என்பது திரவத்தின் முன்னைய நிறை = 100 கிராம்.

$m_2$ என்பது திரவத்தின் பின்னைய நிறை = 91·7 கிராம்.

$t_1$ என்பது திரவத்தின் முன்னைய சூடு = $10^\circ c$.

$t_2$ என்பது திரவத்தின் பின்னைய சூடு = $100^\circ c$.

இவற்றை வாய்பாட்டிலிடவே

$$\alpha = \frac{100 - 91{\cdot}7}{91{\cdot}7\ (100 - 10)}$$

$$= \frac{8{\cdot}3}{91{\cdot}7 \times 90} = {\cdot}001006.$$

இது திரவத்தின் தோற்ற அகற்சிப்பான்மை. இதனோடு கண்ணுடியின் அகற்சிப்பான்மையாகிய ·0000072 ஐக் கூட்ட, திரவத்தின் தனியியல் அகற்சிப் பான்மை கிடைக்கும்.

எனவே டர்பென்டைனின் தனியியல் அகற்சிப் பான்மை ·001006 + ·0000072 = ·0010132 ஆகும்.

உதாரணம் 3. ஒரு பாரமானியின் பித்தளை அளவி $0^\circ c$ சூட்டிலே திருத்தமாக இருக்கிறது. $14^\circ c$ சூட்டிலே 756 மி. மீ. உள்ள வாசகத்தில் செய்ய வேண்டிய திருத்தத்தைக் காண்க. பாதரசத்தின் அகற்சிப்பான்மை ·00018. பித்தளையின் அகற்சிப் பான்மை ·000054.

$14^\circ c$ சூட்டிலே பாரமானியின் வாசகம் 756 மி. மீட்டர். பித்தளை அளவியோ $0^\circ c$ சூட்டிலேதான் திருத்தமாக விருக்கிறது. ஆகையால் ரசநிரையின் நீளம் $756\,(1 + {\cdot}000054 \times 14)$

சூட்டு வேற்றுமையால் ரசத்தின் செறிவும் மாறும். $0^\circ$ சூட்டிலே $h_\circ$ என்ற நீளத்தை மேற்கூறிய நீளம் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். அப்பொழுது

$$h_\circ = \frac{756\ (1 + \cdot 000054 \times 14)}{(1 + \cdot 00018 \times 14)}$$

எனவே, $h_\circ = 756 \left[ 1 - (\cdot 00018 - \cdot 000054) 14 \right]$

$$= 756 - 756 \times 14 \times \cdot 000126$$

$= 1{\cdot}33$ மி. மீட்டரை வாசகத்திலிருந்து கழிக்க வேண்டும்.

---

## வினக்கள்

1. ஒரு திரவத்தின் தோற்ற அகற்சிப் பான்மையை எவ்வாறு காணலாமென்று விபரமாய் எடுத்துக் கூறுக. அதில் காணும் வாசகங்களை எவ்வாறு ஆய்வுக் குறிப்புப் புத்தகத்திலே எடுத்தெழுத வேண்டுமென்றும் காட்டுக.

(சென்னை செப். 1927)

2. ஒரு திரவத்தின் தோற்ற அகற்சிக்கும் உண்மை யகற்சிக்கும் உள்ள வேற்றுமையை எடுத்துக் கூறுக. பாதரசத்தின் உண்மை யகற்சிப்பான்மையைக் காண்பதற்குறியதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

10 செ. மீ. நீளங்கொண்டதும் $0^{\circ}c$ — $100^{\circ}c$ வரை வாசிக்கக்கூடுவதுமான ஒரு உஷ்ணநிலை மானியைச் செய்யவேண்டியிருக்கிறது. இதன் உட்டுளையின் வெட்டுவாய்ப் பரப்பு 0·0024 ச. செ. மீட்டர். $0^{\circ}c$ சூட்டிலே இதிலே நிரப்பவேண்டிய பாதரசத்தின் பருமை யாதாகும்?

கண்ணாடியிலே பாதரசத்தின் தோற்ற அகற்சிப் பான்மை = 0·00015.

(அண்ணாமலை 1933)

3. ஒரு எடை உஷ்ணநிலைமானியிலே $0^{\circ}c$ சூடு கொண்ட 24 கிராம் பாதரசம் இருக்கிறது. இதை $100^{\circ}c$ சூட்டிற்குக் காய்ச்சவே, அதனுள் 23·622 கிராம் பாதரசம் மட்டுமே எஞ்சிநின்றது. எடை உஷ்ண நிலைமானி ஆக்கப்பட்டுள்ள பொருளின் அகற்சிப் பான்மையும், நீட்சிப்பான்மையையும் கணக்கிடுக. பாதரசத்தின் தனியியல் அகற்சிப்பான்மை = ·00018.

(சென்னை செப். 1922)

4. பாதரசத்தின் 'தனியியல் அகற்சிப்பான்மை' என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. 'தனியியல்' என்ற பதத்தின் குறிப்பு யாது?

ஒரு திரவத்தின் தனியியல் அகற்சிப்பான்மையைக் காணும்போது ஒரு சூடான திரவ நிரையையும், ஒரு குளிர்ந்த திரவ நிரையையும் துலைப்படுத்தி, எவ்வாறு கலத்தின் அகற்சியை நீக்கிவிடலாமென்று விளக்குக. 15°c சூட்டிலே நிற்கும் குளிர்ந்த திரவ நிரையின் நீளம் 31 செ. மீட்டர். 96°c சூட்டிலேயுள்ள சூடான திரவ நிரையின் நீளம் 31·16 செ. மீட்டர். இத்திரவத்தின் தனியியல் அகற்சிப்பான்மையைக் கணக்கிடுக. இதில் கையாளும் வாய்பாட்டினை வடித்தெடுக்கவும்.

(சென்னை, மார்ச். 1933)

5. ஒரு திரவத்தின் அகற்சிப்பான்மையைக் காண்பதற்காக ஒரு எடை உஷ்ணநிலைமானி எவ்வாறு கையாளுவதென்று விவரமாய்க் கூறுக.

கண்ணாடியாலாகிய ஒரு எடை உஷ்ணநிலைமானியிலே 15°c சூட்டிலே 120 கிராம் பாதரசம் நிரம்பி இருக்கிறது. இதன் சூடு 96°c ஆனால் அதினின்று எவ்வளவு பாதரசம் வெளிப்படுமென்று கணக்கிடுக.

கண்ணாடியின் நீட்சிப்பான்மை $= \cdot 035 \times 10^{-4}$
பாதரசத்தின் தனியியல் அகற்சிப்பான்மை $= \cdot 181 \times 10^{-3}$

(ஆந்திரா, செப். 1932)

6. ஒரு கண்ணாடி எடை உஷ்ணநிலைமானியின் நிறை 7·5 கிராம். அதிலே 0°c சூட்டிலிருக்கும் பாதரசத்தை நிரப்பிய பிறகு அதன் நிறை 104·6 கிராம். 100°c சூட்டிலே 1·5 கிராம் நிறையுள்ள பாதரசம் வெளிப்படுகிறது. 0°c — 100°c என்னும் இடைவெளியிலே கண்ணாடியின் அகற்சிப்பான்மை ·000183. இவற்

றைக்கொண்டு பாதரசத்தின் தனியியல் அகற்சிப் பான்மையைக் கணக்கிடுக.

7. ஒரு திரவத்தின் 'தனியியல்' அகற்சிப்பான் மையைக் காணுவதற்காக நீரே கண்ட முறையை விவ ரித்து அதற்கான வாய்பாட்டினையும் வடித்தெடுக்கவும்.

30°c சூட்டிலே ஒரு ரச நிரையின் நீளம் 76 செ. மீட்டர். இதை அளவிட்ட அளவி 15°c சூட்டிலே வகைப்பாடு செய்யப்பட்டது. அதன் நீட்சிப் பான்மையோ 0·00002. இவற்றைக்கொண்டு அந்த ரசநிரையின் உண்மையான நீளத்தைக் கணக்கிடுக.

(பம்பாய் 1929)

8. கண்ணாடியாலாகியதொரு எடை உஷ்ணநிலை மானியின் நிறை 10·86 கிராம். அதிலே 0°c சூட்டிலே யுள்ளதொரு திரவத்தை நிரப்பிய பிறகு, அதன் நிறை 17·542 கிராம் ஆயிற்று. 100°c சூட்டிலேயுள்ள அதே திரவத்தால் நிரப்பியபோது அதன் நிறை 16·934 கிராம். எண்ணெயின் தோற்ற அகற்சிப்பான்மையைக் கணக்கிடுக.

9. 'நீட்சிப்பான்மை' என்ற பதத்திற்கு வரை விலக்கணம் கூறுக. ஒரு உலோகத்தினது இப் பான்மையை எவ்வாறு அளக்கலாம்?

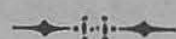
ஒரு பாரமானியின் பித்தளை அளவியின் வகைப் பாடுகள் 0°c-ல் திருத்தமாக இருப்பனவாம். பார மானி வாசகம் 29·83″ ஆகவும், உஷ்ணநிலைமானி வாச கம் 30°c ஆகவும் இருக்கும்போது திருத்தமான பவன இறக்கம் யாதாகும்?

பித்தளையின் நீட்சிப்பான்மை = ·0000191

பாதரசத்தின் அகற்சிப்பான்மை = ·00018 ஆகும்.

(அண்ணாமலை 1932)

# அத்தியாயம் 4



## வாயுப்பொருள்களின் அகற்சி
## (Expansion of Gases)

வாயுக்களின் சிறப்பியல்பு:—திட திரவப்பொருள்களைப் போலன்றி, வாயுக்கள் தங்களுக்குக் கிடைக்கும் இட முழுவதிலும் வியாபிக்கும் தன்மைவாய்ந்தன. வாயுவின் மூலகங்கள் பல திசைகளிலும் திரியும் இயல்புடையனவாய் இருப்பதே இதற்குக் காரணமென்று கூறுவர். இதை ஆதாரமாகக்கொண்டே, வாயுக்களின் 'அணு இயக்கவாதம்' (Kinetic Theory of Gases) என்னும் விஞ்ஞான பிரிவு ஏற்பட்டது. நிற்க, வாயுக்களுக்குள்ள இந்த விசேஷ குணத்தினால் அவை சூடேறி அகற்சி அடையும்போது எவ்வாறு நடந்துகொள்ளுகின்றன என்பதைக் கவனிப்போம். திடதிரவங்களைப் போலவே வாயுக்களும் வெப்பத்தினால் அகற்சியடைகின்றன. அதாவது அவற்றின் பருமைகள் அதிகரிக்கின்றன. ஆனால் ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவின் பருமை அதற்குள்ள இறுக்கத்தையும் சார்ந்திருக்கிறது. இதையே முன்பு 'பாயில்' விதியினால் விளக்கிக் கூறினோம். எனவே ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவின் பருமை, (1) அதன் இறுக்கத்திற்கும் (2) சூட்டிற்கும் ஏற்றவாறு அமைகிறது. அல்லது வாயுவின் (1) பருமை (2) இறுக்கம் (3) சூடு ஆகிய மூன்றினுள் எதையும் நாம் விரும்பியபடி மாற்றலாம். இவற்றுள் ஏதேனுமிரண்டை நாம் மாற்றினால், மூன்றாவது ராசி அதற்குத் தக்க மதிப்பைத் தானே அடையும். எனவே ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவின் (1) பருமை (2) இறுக்கம் (3) சூடு, ஆகிய மூன்றையும் குறிப்பிடுவதால் அந்த வாயுவைப் பூரணமாக நாம் வர்ணித்துவிடலாம்.

(1) மேற்குறித்த காரணத்தால் ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவைச் சூடேற்றி, அதன் பருமை அகற்சியை நாம் அளவிடும்போது, அதன் இறுக்கத்தை ஒரு அளவிலே நிர்ணயித்து, அதை மாருமல் வைக்கவேண்டிய தவசியமாகிறது. ஆகையால் ஒரு வாயுவின் பருமை அகற்சிப்பான்மை என்று மட்டும் கூருமல், மாருத இறுக்கத்தில் ஒரு வாயுவின் பருமை யகற்சிப் பான்மை என்று அடைகொடுத்துக் கூறவேண்டும்.

ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவை எடுத்துக்கொள்வோம். $0°c$ சூட்டில் அதன் பருமை $V_0$ இருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். ஏதேனுமொரு சாதனத்தால் இவ்வாயுவின் இறுக்கம் மாருமல் வைத்து, அதற்குச் சூடேற்றுவோம். $t°c$ சூட்டில் அதன் பருமை $V$ என்று வைத்துக்கொள்வோம். இப்போது நாம் $V = V_0 (1+ \alpha_p t)$ என்று காண்போம். இதில் $\alpha_p$ என்பது அந்த வாயுவின் மாற இறுக்கப் பருமை அகற்சிப்பான்மை என்னும் ஓர் மாறிலியாம். இதன் இலக்கணம் வருமாறு :—

‘ஒரு வாயுவின் மாற-இறுக்கப் பருமை அகற்சிப் பான்மையாவது, அவ்வாயுவின் இறுக்கம் மாறதிருக்க, அதற்கு $1°c$ சூடேற்றுவதால் ஏற்படும் அகற்சிக்கும் அவ்வாயுவின் $0°c$ சூட்டில் கோண்ட பருமைக்கும் உள்ள தகவு ஆகும்.’

இது நிற்க, ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவை ஒரு மூடிய கலத்தினுள் அடைத்து, அதற்கு வெப்பம் ஏற்றினுல் அதன் இறுக்கம் அதிகரிப்பதைக் காணலாம். எனவே வாயுக்களுக்கு சூடு மாறுபாட்டால் ஏற்படும் இறுக்க மிகுதிப் பான்மை ஒன்றுண்டென்று அறிகிரேம். இவ்விறுக்க மிகுதிப்பான்மையை அளக்கும் போது வாயுவின் பருமை மாருதிருக்கவேண்டுவது அவ

சியம். ஃ, $0°c$-ல் வாயுவின் இறுக்கம் $p_0$ என்றும், $t°c$-ல் அதன் இறுக்கம் $p$ என்றும் கொண்டால்,

$p = p_0(1+\alpha_v t)$ என்பதைக் காண்போம். இதில் $\alpha_v$ என்பது வாயுவின் மாறப் பருமை இறுக்க மிகுதிப் பான்மை (co-efficient of increase of pressure under constant volume) எனப்படும் ஓர் மாறிலியாம். இதன் இலக்கணம் வருமாறு :—

'ஒரு வாயுவின் மாறப்பருமை-இறுக்கமிகுதிப் பான்மை என்பது, அவ்வாயுவின் பருமை மாறதிருக்க, அதற்கு $1°c$ சூடேற்றுவதால், அவ்வாயுவின் இறுக்கத்தில் ஏற்படும் மிகுதிக்கும் அதே வாயு $0°c$ சூட்டில் கொண்ட இறுக்கத்திற்கும் உள்ள தகவு ஆகும்.'

ஓர் எச்சரிக்கை :—ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவின் பருமை $t°c$ சூட்டில் V என்றும், $t_1°c$ சூட்டில் $V_1$ என்றும் கொண்டால், திடப்பொருள்களுக்கு அகற்சிப் பான்மை கண்டபோது செய்ததுபோல

$V_1 = V\{1 + \alpha_p(t_1 - t)\}$ என்று சரிக்கட்டக் கூடாது. வாயுக்களின் $\alpha_p$, $\alpha_v$ இவை மிகப் பெரியனவாதலால் அவற்றின் வர்க்கங்களை புறக்கணித்துவிட முடியாது. ஆனால்

$$V = V_0(1 + \alpha_p t).$$

$$V_1 = V_0(1 + \alpha_p t_1).$$ ஆகையால்

$$V_1 = \frac{V(1 + \alpha_p t_1)}{1 + \alpha_p t}$$ என்னும் சரியான உறவை உபயோகிக்க வேண்டும்.

இரண்டு பான்மைகளின் சமத்துவம் :—எல்லா வாயுக்களும் பாயில் விதிக்குப் பெரும்பாலும் உட்பட்டு நடப்பதால், அவற்றின் பருமை-அகற்சிப்பான்மை, இறுக்க மிகுதிப்பான்மை ஆகிய விரண்டும் சமத்துவ

மடைகின்றன. இவையிரண்டின் சமத்துவம் பரிசோதனையால் கண்டு நிறுவப்பட்டிருக்கிறது. நிற்க, இவை சமமாய் இருக்கத்தான் வேண்டுமென்பதை நாம் அநுமானத்தால் தீர்மானிப்போம்.

ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவின் பருமை $0°c$ சூட்டில் $v_0$ என்று இருப்பதாகவும், அதே சூட்டில் அதன் இறுக்கம் $p_0$ என்று இருப்பதாகவும் கொள்வோம். அதன் இறுக்கம் மாருதிருக்க, அதற்கு நாம் $t°c$ சூடேற்றுவோம். அதன் பருமை இப்போது $v$ என்று கொள்வோம். அப்படியானல் $v = v_0 (1 + \alpha_p t)$...... (1). நிற்க, அதன் பருமை மாருதிருக்க நாம் $t°c$ சூடேற்ற, அதன் இறுக்கம் இப்போது $p$ என்று இருப்பதாகக் கொள்வோம். அப்படியானல் $p = p_0 (1 + \alpha_v t)$......(2). ஆனல் பாயில் விதியினல் $p\, v_0 = p_0\, v$.........(3) ($t°$ சூட்டில்).

(1), (2) சமீகரணங்களில் கண்ட $v$, $p$ இவைகளின் மதிப்புகளை (3) வது சமீகரணத்தில் பிரயோகிக்க

$$p_0 v_0 (1 + \alpha_p t) = v_0 p_0 (1 + \alpha_v t)$$

அதாவது $\alpha_p = \alpha_v$ ஆகும்.

இவையிரண்டும் சமமாய் இருப்பதாலும், நாம் பாயில் விதிக்குக் கட்டுப்பட்ட வாயுக்களைப் பற்றியே பேசப்போவதாலும், இவ்விரண்டு பான்மைகளையும் பொதுவாக $\alpha$ என்றே குறிப்போம்.

சார்லஸின் விதி :—மேற்கூறியவற்றைத் தவிர, வாயுக்களின் விசேஷ குணமொன்று சார்லஸ் என்பவரால் கண்டு வெளியிடப்பட்டது. முதல் முதலில் இதற்கு அநுமான பூர்வமான நிரூபணத்தை வெளியிட்டவர் 'கே லூஸாக்' (Gay Lussac) என்பவராகும். வாயுக்களில் ஒவ்வொன்றுக்கும் அதன் இரண்டு

பான்மைகளும் சமம் என்று கண்டோம். இதுவல்லாமல் அந்தப் பான்மைகள் எல்லா வாயுக்களுக்கும் ஒன்றே என்பதுதான் சார்லஸ் விதி. அதை எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு :—

'எல்லா சாமானிய வாயுக்களும், அவற்றை மாறத இறுக்கத்திற்கு உட்படுத்திவைத்து வெப்பம் ஏற்றினல், ஒவ்வொரு பாகைச் சூட்டிற்கும், அதனுடைய 0°c சூட்டுப் பருமையின் ஒரு திட்டமான பின்னத்தினளவு அவற்றின் பருமை அகற்சி யடைகின்றது.'

இந்த அகற்சிப்பான்மையின் மதிப்பை ரீஞே மிகத் திருத்தமாக அளவிட்டு, அது ·00366 அல்லது $\frac{1}{273}$ என்று தெரிவித்தார். பாயில் விதியைப் போலவே இதுவும் தீயகம் (oxygen), நீரகம் போன்ற நிலைத்த வாயுக்களை (Permanent gases)ப் பொறுத்தவரை ஏறக்குறைய சரியாக இருக்கிறது.

மாறத இறுக்கத்திலே α காணல் :— (படம் 177). (1) ஏறக்குறைய 1 மி. மீ. அகலமுள்ள துவாரமும், 25 செ. மீ. நீளமும் கொண்ட ஒரு புழை நாளத்தை எடுத்துக் கொள்ளவும். அதை சாம்பரப் பரமங் கனகை அல்லது சாம்பர குருமிகை (Potassium dichromate) கரை நீரால் கழுவிச் சுத்தம் செய்யவும். ஒரு துருத்தியினல் சூடான காற்றை அதன் வழியாகச் செலுத்தி ஈரத்தைப் போக்கவும். அதன் ஒரு முனையை ஊதுலையில் காய்ச்சி மூடிவிடவும். ஒரு அனலிலே அதைச் சிறிது சுடவைத்து பாதரசம் நிறைந்த ஒரு கிண்ணத்தினுள் அக்குழாயின் திறந்துள்ள முனையை முழுக்கி



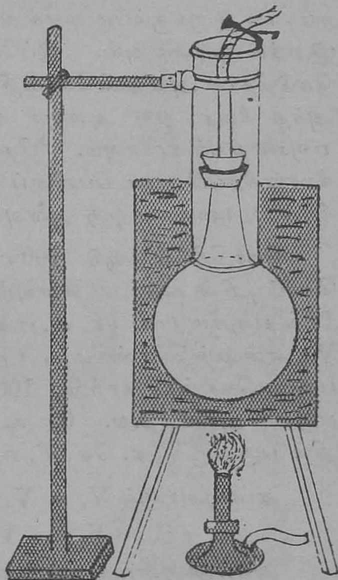
படம் 177

வைக்கவும். குழாய் குளிர்ந்தவுடன் சிறிது பாதரசம் அதனுள் நுழைந்திருக்கும். அப்பாதரசநிரை கீழே விழுந்துவிடாமல் குழாயின் திறந்த முனையைக் கை விரலால் மூடிக்கொண்டு அதை வெளியிலெடுக்கவும். ஒரு அரை மீட்டர் அளவியோடு அதைச் சேர்த்துக் கட்டிவிடவும். இதனல் குழாயினுள் அகப்பட்ட காற்று நிரையின் நீளத்தை எளிதில் அளந்துகொள்ளலாம்.

பனிக்கட்டியும் தண்ணீரும் கலந்த ஒரு கலவையில் இக்குழாயின் மூடிய முனையை முழுக்கி அதைச் செங்குத்தாகப் பிடிக்கவும். காற்றுநிரை குளிர்ந்து சுருங்குவதால் ரசநிரை கீழ் நோக்கிச் செல்லும். அது செலலுவது நின்றவுடன், ரசநிரையின் அடிப்பாகத்திற்குரிய அளவியின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது காற்று நிரையின் நீளம் $l_1$ செ. மீ. என்று கொள்வோம். பிறகு கொதிக்கும் நீரிலே இக்குழாயின் மூடிய முனையை முழுக்கி வைத்து அதைச் செங்குத்தாய்ப் பிடிக்கவும். காற்று நிரை சூடேறி அகற்சி அடைவதால் ரசநிரை மேலேறும். அது ஏறுவது நின்றவுடன், அதன் அடிப்பாகத்துக்குரிய அளவியின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது காற்று நிரையின் நீளம் $l_2$ செ. மீ. என்று கொள்வோம். குழாயின் துவாரம் சீரானதாய் இருப்பதால் அவ்வப்போது அடைபட்ட காற்றுநிரையின் பருமை, அதன் நீளத்திற்கு ஏற்பவிருக்குமென்று கொள்ளலாம். ஆதலின் காற்றுநிரை $100°c$ சூடேற்றியதால் அடைந்த அகற்சிக்கும், அதன் $0°c$ சூட்டுப் பருமைக்கும் உள்ள தகவு $\frac{l_2-l_1}{l_1}$ ஆகும். ஆதலால் காற்றின் அகற்சிப் பான்மை $\alpha = \frac{l_2-l_1}{100l_1}$ ஆகும். இப்பரிசோதனை கால முழுவதிலும் உள்ளே அடைபட்ட காற்றின் இறுக்கம்

ஒன்றாகவே இருந்தது என்பது வெளிப்படை. பவன இறுக்கம் ரசநிரையின் எடையுடன் கூடிய கூட்டுத் தொகையே அடைபட்ட காற்றின் இறுக்கமாகும். இவ்வாறு இறுக்கம் மாறாதிருந்தமையால் நாம் கண்டது மாறா இறுக்க அகற்சிப்பான்மையாகும்.

(2) ஒரு சுத்தமான கண்ணாடிக் கலயத்தை எடுத்து அதற்கு ஒரு குட்டையான கண்ணாடிக் குழாய் செருகப் பட்ட ரப்பர் அடைப்பானை இறுக்கமாகப் போடவும். (படம் 178). அதனிடுக்குகளில் காற்று புகாதபடி வாஸ்லீனை (Vaseline)த் தடவவும். கண்ணாடிக் குழாயின் நுனியில், ஒரு குட்டையான ரப்பர்க் குழாயைப் பொருத்தவும். அதிலே ஒரு கவ்வியை மாட்டி வைக்கவும். இந்தக் கலயத்தை ஒரு தொட்டி நீரிலே கண்ணாடிக் குழாய் மட்டும் வெளியே தெரியும்படி முழுக்கி வைத்து, தொட்டி நீரைக் காய்ச்சி கொதிக்கச் செய்யவும். கொதிநீரின் சூட்டை ஒரு உஷ்ணநிலைமானியால் அளந்துகொள்ளவும். சுமார் 15 நிமிஷ நேரம் அக் கொதிநீரிலேயே கலயத்தை வைத்திருக்கவும். இப்போது கலயத்தினுள்ளிருக்கும் காற்று கொதிநீரின் சூட்டை அடைந்திருக்கும். இப்போது கவ்வியை



படம் 178

இறுக்கமாக மூடி, கலயத்தை வெளியிலெடுத்து, ஒரு தண்ணீர்த் தொட்டியிலே தலைகீழாக முழுக்கி, கவ்வியைத் தளர்த்திவிடவும். கலயம் தண்ணீரின் சூட்டை அடையும்வரை வைத்திருக்கவும். தொட்டி நீரின் சூட்டையும் ஒரு உஷ்ணநிலைமானியால் அளந்துகொள்ளவும். கலயத்தின் வாயை மட்டும் நீர் மட்டத்திற்கு மேலே கொண்டுவரவிடாமல் கலயத்தை மெதுவாக மேலே தூக்கி, கலயத்தினுள்ளும் புறமும் நீர் மட்டம் சமமாய் இருக்கும்படி வைத்து, அதே நிலையில் கவ்வியை இறுக்கி மூடிவிடவும். இப்போது கலயத்தை வெளியிலெடுத்தால் அதனுள்ளே சிறிது நீர் நிரம்பி இருக்கும். அந்த நீரை ஒரு அளவுச் சாடியில் விட்டு அதன் பருமையைக் காணவும். பிறகு கலயத்தை முழுவதும் நீரால் நிரப்பி அடைப்பானைப் போட்டுக் கலயத்திலுள்ள நீரின் பருமையை ஒரு அளவுச் சாடியால் அளக்கவும்.

கொதிநீரின் சூடு $100^\circ c$ எனவும், தண்ணீர்த் தொட்டியின் சூடு $t^\circ c$ எனவும், கலயத்தினுள் புகுந்த நீரின் பருமை $v$ க. செ. மீ. என்றும், கலயத்தின் பருமை $V_{100}$ என்றும் கொண்டால், $t^\circ c$ சூட்டில் $(V_{100}-v)$ க.செ. பருமைகொண்ட காற்று, $100^\circ c$ சூட்டில் $V_{100}$ க. செ. பருமை அடைந்தது. $0^\circ c$ சூட்டில் அதே அளவு காற்றின் பருமை $V_0$ க. செ. மீ. என்று கொள்வோம்.

அப்படியானால் $V_t = V_0(1 + \alpha t)$.

$$V_{100} = V_0(1 + 100\alpha).$$

அல்லது ஒன்றை ஒன்றால் வகுக்க,

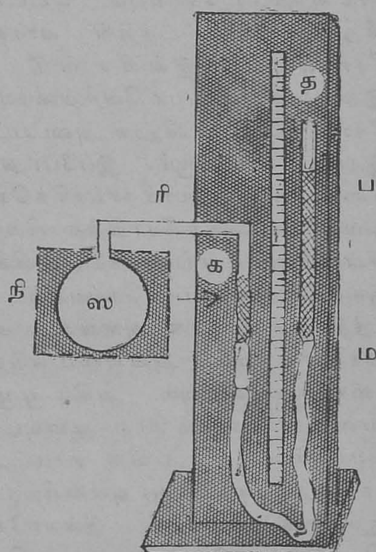
$$\frac{V_t}{V_{100}} = \frac{1 + \alpha t}{1 + 100\alpha}$$

அல்லது $\alpha = \dfrac{V_{100} - V_t}{100V_t - tV_{100}}$

$$= \frac{v}{100(V_{100} - v) - tV_{100}}$$

மேற்கூறிய இரண்டு முறைகளிலும் நாம் கண்ணுடிக் கலயம் அடையும் அகற்சியை கவனிக்காது விட்டு விட்டோம். கண்ணுடியின் அகற்சியை நோக்கக் காற்றின் அகற்சி மிகப்பெரியதாகையால், முன்னதை விட்டு விடுவதால் பின்னதைக் கணக்கிடுவதில் அதிக பாதக மேற்படாது.

மாறுத பருமையில் α காணல்:—(படம் 179). படத்தில் கண்ட கருவி ஆய்வுச்சாலைகளிலே பெரிதும் பயன் படுகிறது. ஸ என்னும் கண்ணுடிக் குமிழும், ரி, க யென்னும் குழாய்களும் சேர்த்து ஒருங்கே செய்யப்பட்டவை. க-வின் அடிப்பாகமும் மபத என்னும் மற்ருெரு கண்ணுடிக் குழாயும் ஒரு தடித்த ரப்பர்க் குழாயினுல் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன; இவை யெல்லாம் ஒரு செங்குத்தான மரத்தாங்குகாலின்மீது படத்தில் கண்டபடி ஏற்றப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு மீட்டர் அளவியும் மபதக வுக்கு அருகிலே அதற்கு இணையாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. க-வின் அடிப்பாகமும், மபத-வின் அடிப்பாகமும், ரப்பர்க் குழாயும் பாதரசத்



படம் 179

தால் நிரம்பி இருக்கின்றன. க-வின் நடுவில் ஒரு சிறிய கிற்று, படுக்கை வாக்கிலே அதன் மீது போடப்பட்டிருக்கிறது.

பரிசோதனையைத் தொடங்கும்போது, ஸ ஒரு தகரத் தொட்டியிலுள்ள தண்ணீரினுள் முழுக்கிவைக்கப் படவேண்டும். தண்ணீரின் சூட்டை ஒரு உஷ்ணநிலை மானியால் அளந்துகொள்ளவும். மபத வை மேலுங் கீழுமாக நகர்த்தி, க வினுள் ரசமட்டம் கிற்றுக்குச் சரியாக வரும்படி செய்யவும். மீட்டர் அளவியிலே மபத-விலுள்ள ரசமட்டத்தின் வாசகத்தைக் குறித்துக் கொள்ளவும். இவ்விரண்டு ரசமட்டங்களுக்கும் இடையேயுள்ள உயர வேற்றுமையை பவன இறுக்கத்தோடு கூட்ட, ஸ வினுள் அடைபட்டிருக்கும் காற்றின் இறுக்கம் கிடைக்கும். இப்போது தண்ணீர்த் தொட்டியை ஒரு அனலியால் காய்ச்சிக் கொதிக்கச் செய்யவும். தண்ணீர் நன்றுகக் கொதித்த பிறகு மறுபடியும் மபத வின் நிலையைச் சரிப்படுத்தி, க வின் ரசமட்டம் கிற்றுக்குச் சரியாக வரும்படி செய்யவும். ப என்னும் ரசமட்டத்திற்குச் சரியான அளவியின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். அனலியை எடுத்துவிட்டுத் தொட்டி நீரைக் குளிரவிடவும். அதில் முழுகியுள்ள உஷ்ணநிலை மானியின் வாசகம் 90°c ஆனவுடன் மபத-வின் நிலையைச் சரிப்படுத்தி க வின் ரசமட்டம் கிற்றுக்குச் சரியாக வரும்படிசெய்து, அளவியில் ப வின் வாசகத்தைத் குறித்துக்கொள்ளவும். இவ்வாறே 80°c, 70°c, 60°c, 50°c, 40°c ஆகிய சூடுகளிலும் செய்யவும். அனலியினுதவியால் தொட்டியின் சூடு, மேலே கண்ட சூடுகளிலே அளவெடுக்கும்போது மாறுதிருக்கும்படி சரிப்படுத்தவேண்டும். இவற்றைக் கீழ்கண்டவாறு அட்டவணைப் படுத்தவும். பவன விறுக்கத்தை ஒரு பார்டின் பாரமானியால் அளந்துகொள்ளவும்.

| எண் | சூடு | ப-வின் வாசகம் | உயரவேற்றுமை ($h$) | இறுக்கம் H + $h$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 30°$c$ அறையின் சூடு. | | | |
| 2 | 100°$c$ | | | |
| 3 | 90°$c$ | | | |
| 4 | 80°$c$ | | | |
| 5 | 70°$c$ | | | |
| 6 | 60°$c$ | | | |
| 7 | 50°$c$ | | | |
| 8 | 40°$c$ | | | |

இந்த அட்டவணையிலுள்ள அளவுகளைக்கொண்டு ஸ வினுள்ளே அடைப்பட்டிருக்கும் காற்றின் பருமை மாறு இறுக்க மிகுதிப் பான்மையைக் கணக்கிடலாம்.

$t_1$°C சூட்டில் காற்றின் இறுக்கம் $p_1$ என்றும்,
$t_2$°C சூட்டில் ,, ,, $p_2$ என்றும்
கொள்வோம். 0°$c$ சூட்டில் காற்றின் இறுக்கம் $p_0$ ஆனல்,

$$p_1 = p_0 (1 + \alpha t_1).$$
$$p_2 = p_0 (1 + \alpha t_2).$$

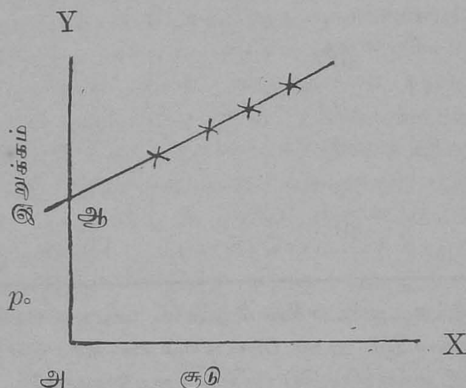
ஆகையால் $\frac{p_1}{p_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2}$ அல்லது

$$\alpha = \frac{p_2 - p_1}{p_1 t_2 - p_2 t_1}$$

ஸ வுக்கும் க வுக்கும் இடையிலுள்ள ரி என்னும் குழாய் கூடியவரை சிறியதாயும் குட்டையாயும் இருத்

தல் நலம். மற்றும் குளிரும்போது ரி யிலுள்ள பாத ரசம் ஸ வினுள் சென்றுவிடாமல் பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். மபத அதிக உயரத்திலிருந்தால் அவ்வாறு நேரக்கூடும். பிறகு அந்தப் பாதரசத்தை வெளியி லெடுப்பது சிரமமாகும்.

இதை மற்றொரு வகையாகவும் கணக்கிடலாம். சூட்டை 'X' இருசிலும் அதற்குரிய இறுக்கத்தை Y




படம் 180

இருசிலும் கொண்ட ஒரு உருவகம் வரையவும். அது (படம் 180) படத்திலே கண்டபடி ஒரு நேர்கோடாக இருக்கும். இக்கோட்டை நீட்டிவிட்டு அது y இருசை வெட்டுகிற ஆ என்ற புள்ளியைக் காணவும். அஆ என்பது $0°c$ சூட்டிலே சிறைபட்ட காற்றின் இறுக்க மாகும். இதை $p_0$ என்று குறிப்பிடுவோம். இப்போது $t$ என்ற சூட்டுக்குரிய $p_t$ என்ற இறுக்கத்தை $p_t = p_0 (1 + \alpha t)$ என்ற சமீகரணத்தால் குறிப்பிடலாம். பல வேறு சூடுகளிலே $p_t$ யின் மதிப்பை நாம் கண்டிருக் கிறோம். எனவே,

$\alpha = \frac{p_t - p_0}{p_0\, t}$ என்ற வாய்பாட்டினால் மாறுப்பருமை இறுக்க மிகுதிப் பான்மையாகிய $\alpha$ வைக் கணக்கிடலாம். பலவேறு சூடுகளுக்குக் கண்ட $\alpha$ வின் பொதுமை மதிப்பைக் கணக்கிடவும்.

வாயு உஷ்ணநிலைமானி :—பாதரசம், சாராயம் போன்ற திரவங்களுக்குப் பதிலாக நீரகம் போன்ற நிலைத்த வாயுக்களை உஷ்ணநிலைமானிப் பொருள்களாக உபயோகிக்கலாம். அதற்குகந்த சில சிறந்த இயல்புகள் அவற்றினிடமிருக்கின்றன. அவையாவன :—(1) எல்லா வாயுக்களுக்கும் அகற்சிப்பான்மை ஒன்றுயிருப்பது (2) திரவங்களைவிட வாயுக்களின் அகற்சி பல மடங்கு அதிகமாயிருப்பது (3) வாயுக்களின் அகற்சியை நோக்க, அவற்றைக் கொண்டிருக்கும் கலங்களின் அகற்சியைப் புறக்கணித்துவிடக்கூடியபடி சிறியதாயிருப்பது (4) 0°C யின் கீழ் மிகுந்த குளிரிலும் எல்லையற்ற சூட்டிலும் உபயோகப்படக் கூடியதாய் இருப்பது முதலியனவாம்.

இதனால் சர்வதேச அளவைக் கமிட்டியார் 1887-ம் ஆண்டில் ஒரு நீரக வாயு உஷ்ணநிலைமானியை சூட்டளவுகளுக்குக் கட்டளையாகக் கொண்டார்கள். அதன் தத்துவம் முன்னைய பரிசோதனையில் கூறப்பட்ட கருவியின் தத்துவத்தைப் போன்றதே. ஸ என்னும் குமிழில் நீரகவாயு நிரம்பி இருக்கும். வலதுகைப்புறமுள்ள மத என்னும் குழாயின் மேல் நுனி மூடப்பட்டு இருக்கும். ரசமட்டத்திற்கு மேலுள்ள இடம் பாழ்வெளியாகும். இதனால் பவன-இறுக்கத்தை அளக்காமல் ஸ வினுள் அடைபட்ட காற்றின் இறுக்கத்தை நேரே அளந்துவிடலாம். பாதரச உஷ்ணநிலைமானியைப் போலவே, இதுவும் பனியிளகு நீரிலும் கொதி நீரிலுமாக வைத்து வகைப்பாடு செய்யப்படுகிறது.

இது பெரியதாயிருப்பதாலும், எடுத்தாளுவதற்குச் சௌகரியமாய் இல்லாததாலும், ரசஉஷ்ணநிலைமானிகளுக்கு ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும் சாதனமாகவே இதைக் கொள்கிறார்கள். பீங்கான் குமிழை உபயோகித்தால் இதனால் 1100°c சூடுவரை அளக்கலாம்.

தனியியல் சூடு (absolute temperature):— வாயுக்கள் எல்லாம் வெப்பத்தை உட்கொள்வதால் ஒரே அளவில் அகற்சி அடைவதை எடுத்துக்கூறி, அவற்றைக் காணும் முறைகளையும் விவரித்தோம். மற்றும், சூடேறும்போது ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவின் பருமை மாறாதிருக்கச் செய்தால், அதன் இறுக்கம் அதிகரிப்பதையும் கண்டோம். இந்த இறுக்க அதிகரிப்பும், எல்லா வாயுக்களிலும் எல்லாச் சூடுகளிலும் ஏறக்குறைய ஒன்றாக இருப்பதையும் அறிந்தோம். சூடு குறைந்தால் இறுக்கமும் குறைகிறது. அவ்வாறு குறையும் அளவும் ஒவ்வொரு பாகைக்கும் ஒரே அளவினதாய் இருப்பதால், ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவின் சூட்டை வேண்டியவரை குறைத்துவிட்டால், இறுக்கம் சூனியமாகும் நிலையும் வருவதற்கு ஏதுவுண்டோ என்று சந்தேகம் ஏற்படுகிறது. இதைக் கணக்கியல் முறையில் கூறினால் நன்கு விளங்கும். ஒரு சிறைப்பட்ட வாயுவின் இறுக்கம் $t°c$ சூட்டில் பின்வரும் இணைவால் காணப்படுகிறது.

$$p = p_0(1 + \alpha t)$$

இதில் $p_0$ என்பது அதே வாயுவின் $0°c$ சூட்டு இறுக்கமாகும். $\alpha = \frac{1}{273}$. இப்போது $t = -273°c$ என்று நாம் கொள்வோம். அவ்வாறாயின் $p = 0$ ஆகும்.

எனவே எல்லா வாயுக்களும் $-273°c$ சூட்டை அடைந்தால் அவற்றின் இறக்கம் சூனியமாய்விடும்.

இதற்குக்கீழே சூடு போனால் இறுக்கம் குறை ராசியாகி விடுகிறது. இறுக்கம் குறை ராசியாக விருத்தல் என்பதைக் கருதமுடியாது. எனவே சூடு எப்போதும் $-273^\circ c$-க்குக் கீழே செல்லமுடியாதென்று தெரிகிறது. ஆதலின் இது தனியியல் சூனியம் எனப்படும். இதில் சூடு இல்லாமையால் வெப்பமும் இல்லையாகும். இந்தத் தனியியல் சுன்னத்திலிருந்து சூட்டை அளந்தால் அது தனியியல் சூடு எனப்படும். தனியியல் திட்டப்படி $0^\circ c$ யானது $273^\circ$ A ஆகும். நீரின் கொதிநிலையாகிய $100^\circ c$ இத்திட்டத்திலே $373^\circ$A ஆகும். இவ்வாறாகச் செண்டிகிரேட் திட்டத்தில் அளக்கப்பட்ட சூட்டோடு, $273^\circ$ ஐக் கூட்டத் தனியியல் சூடு கிடைக்கும். இந்தத் திட்டத்தை நன்றாக ஆராய்ந்து நிறுவியவரான கெல்வின் பிரபுவின் பெயரால், இது கெல்வின் திட்டமெனவும் வழங்கும். இந்தத் திட்டத்திலே சூட்டைக் குறிப்பிடும்போது கெல்வின் பெயரின் முதலாகிய K என்னும் எழுத்துச் சேர்க்கப்பெறும். எனவே $-10^\circ c$ சூடு கெல்வின் அல்லது தனியியல் திட்டத்தில் $263^\circ$K என்று எழுதப்படும்.

வாயுக்களின் அணு-இயக்கவாதப்படி அவற்றில் பலகோடி அணுக்கள் பல திசைகளிலும் பல கதிகளுடன் ஓடி ஒன்றோடொன்று முட்டும். பின்னர் அவற்றைக் கொண்டிருக்கும் கலத்தின் சுவர்களில் மோதி மீள்வதால் அவற்றின் இறுக்கம் ஏற்படுகிறது என்று கூறப்படும். இறுக்கம் சூனியமானால் வாயு அணுக்களின் கதிகளும் சூனியமாகவேண்டும். எனவே தனியியல் சூனியச் சூட்டில், பொருள்களின் அணுக்களெல்லாம் இயக்கம் அடங்கிக் கிடக்கும் நிலையை அடைகின்றனவென்று கூறலாம். இத்தகைய ஒடுக்க நிலையில் பதார்த்தங்கள் எவ்வாறு இருக்குமென்று அறிவது மிக அதிசயமாக விருக்கும். ஆனால் அத்தகைய

அதிசயத்தை இதுவரை மனிதன் காணமுடியவில்லை. வாயுக்களைக் குளிர்வித்தால் அவை சில எல்லைகளுக்குப் பிறகு திரவங்களாகிவிடுகின்றன. தீயக வாயு $-130^\circ c$ சூட்டிலும், பரிதியம் (Helium) $-271\cdot6^\circ c$ சூட்டிலும் திரவங்களாகிவிடுகின்றன. இது வரை அடையப்பட்ட மிகக்குறைந்த சூடு $-271\cdot6^\circ c$ ஆகும்.

வாயுச்சமீகரணம் (gas equation):—நாம் ஒரு சிறையிலிட்ட வாயுவை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் பருமையும், இறுக்கமும், சூடும் முறையே $p$, $v$, $t$ என்று கொள்வோம். அதன் இறுக்கத்தை மாறாது வைத்து அதன் சூட்டை $0^\circ c$ க்குக் குறைப்போம். இப் போது அதனுடைய பருமை $v_1$ என்று கொள்வோம். எனவே

$$pv = pv_1 (1 + \alpha t) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

மறுபடியும் அதன் சூட்டை மாறாமல் வைத்து, அதன் இறுக்கத்தை கட்டளைப் பவன இறுக்கத்திற்குக் $(p_\circ)$ கொண்டு வருவோம். அதன் பருமை $v_\circ$ ஆகமாறினால் $pv_1 = p_\circ v$.

ஆகையால் $pv = p_\circ v_\circ (1 + \alpha t)$

அதன் தனியியல் சூடு T ஆனால்,

$$T = t + 273 = t + \frac{1}{\alpha} = \frac{1 + \alpha t}{\alpha}$$

அதனால் $1 + \alpha t = T\alpha$.

ஆகையால் $pv = p_\circ v_\circ \alpha T$.

இவற்றிலே $p_\circ$, $v_\circ$ ஆகியவிரண்டும் அச்சிறையிலிட்ட வாயுவின் மாறிலிகள். $\alpha$ எல்லா வாயுக்களுக்கும் பொதுவான மாறிலி.

ஆகையால் $pv =$ மாறிலி $\times T = RT$.

அல்லது $\frac{pv}{T} = R$.

இதுவே வாயுச் சமீகரணம் எனப்படும். வாயுக்களின் பருமை, இறுக்கம், சூடு இவற்றைப்பற்றிய கணக்குகளைப் போடுவதற்கு இது பெரிதும் பயன்படும். இது பாயில் விதியினின்றும் சார்லஸ் விதியினின்றும் கொண்டுவரப்பட்டதாகையால் அவைகளுக்கு உட்படும் வாயுக்களுக்கே இச்சமீகரணமும் செல்லுபடியாகும்.

இதிலிருந்து ஒரு குறித்த அளவுள்ள வாயுவின் இறுக்கத்தை மாறாது வைத்தால் அதன் பருமையும், பருமையை மாறாது வைத்தால் அதன் இறுக்கமும், தனியியல் சூட்டுக்கு ஏற்ப நேர் விகிதமாக மாறுகின்றனவென்று தெரிகிறது.

உதாரணம் 1. 0°c சூட்டிலே 760 மி. மீ. ரச நிரை இறுக்கத்துக்குட்பட்ட ஒரு லிட்டர் நீரகவாயுவின் நிறை ·0896 கிராம். 20°c சூட்டிலே 766 மி. மீ. இறுக்கத்துக்குட்பட்ட ஒரு லிட்டர் நீரக வாயுவின் நிறையைக் கணக்கிடுக.

வாயுச் சமீகரணத்தின்படி $\frac{p\ v}{T}$ = மாறிலி

அதாவது $\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}$

கணக்கிலே கண்ட ராசிகளை ஈடிடவே

$$\frac{766 \times 1}{293} = \frac{760 \times v_2}{273}$$

$$v_2 = \frac{273 \times 766}{293 \times 760}$$

$= \cdot 9391$ லிட்டர்.

ஆகையால் அதன் நிறை $= \cdot 9391 \times \cdot 0896$

$= \cdot 0841$ கிராம்.

எனவே $20^\circ c$ சூட்டிலே 766 மி. மீ. இறுக்கத்துக் குட்பட்ட ஒரு லிட்டர் நீரக வாயுவின் நிறை ·0841 கிராம் ஆகும்.

உதாரணம் 2. பீச்சாஞேடு கூடியதொரு குழாயினுள்ளே, $20^\circ c$ சூடு கொண்ட 10 க. அடி காற்று, 15 பவு/ச. அங். என்னும் இறுக்கத்திற்குட்பட்டிருக்கிறது. பீச்சானை உள்ளே அழுத்தி அதன் பருமை 4 க. அடியாகக் குறைக்கப்பட்டது. இதன் இறுக்கம் 160 பவு/ச. அங். என்னும் அளவையடையுமாறு அதன் சூடு உயர்த்தப்பட்டது. இந்த மாறுபாடுகளுக்குப் பின்னர் காற்றின் சூடு யாதாக இருக்கும் ?

வாயுச் சமீகரணத்தின்படி, $p$ என்பது ஒரு அடைபட்ட வாயுவின் இறுக்கம் என்றும், $v$ என்பது அதன் பருமை என்றும், T என்பது அதன் தனியியல் சூடு என்றும் கொண்டால்

$$\frac{p\,v}{T} = \text{மாறிலி.}$$

அதாவது $\frac{p_1\,v_1}{T_1} = \frac{p_2\,v_2}{T_2}$

கணக்கிலே கண்ட இராசிகளை ஈடிடவே

$$\frac{15 \times 10}{293} = \frac{160 \times 4}{T}$$

அல்லது $T = \frac{293 \times 160 \times 4}{15 \times 10}$

$= 1250{\cdot}1$

எனவே அடைபட்ட காற்றின் சூடு $1250{\cdot}1 - 273$
$= 977{\cdot}1^\circ c$ ஆகும்.

## வினுக்கள்

1. ஒரு வாயுவின் பருமை, இறுக்கம், சூடு இவற்றைப் பிணைக்கும் தொடர்புகளை எடுத்துக்கூறுக. இவற்றிலொன்றைச் சரிபார்ப்பதற்காகச் செய்யக்கூடியதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

(சென்னை மார்ச். 1924)

2. காற்றினது அகற்சிப்பான்மையை எவ்வாறு பரிசோதனையால் காணலாமென்று விபரமாகக் கூறுக.

'தனியியல் சூடு' என்றால் என்னவென்று தெளிவாக விளக்குக. ஒரு வாயுவின் பருமை, இறக்கம், தனியியல் சூடு இவற்றினிடைப்பட்ட தொடர்பை எடுத்துக் கூறுக.

(சென்னை மார்ச். 1923)

3. வாயுக்களின் பருமை, இறக்கம், சூடு இவற்றைப் பிணைக்கும் தொடர்புகளை எடுத்துக்கூறுக.

$0°c$ சூட்டிலே 760 மி. மீ. பாதரச நிரை இறுக்கத்துக்குட்பட்ட 1 லிட்டர் பருமைகொண்ட வாயுவின் நிறை 1·293 கிராம். இத்தகைய வாயுவின் ஒரு பகுதி, 2·5 லிட்டர் பருமைகொண்டதொரு உருளையினுள்ளே, 780 மி. மீ. இறுக்கத்திலே, $17°c$ சூட்டிலே அடைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த வாயுவின் நிறையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை, செப். 1922)

4. 'தனியியல் சூனியம்' என்றால் என்ன? சென்டிகிரேட் திட்டத்திலும் பாரன் ஹீட் திட்டத்திலும் அது எத்தனை பாகைகளாகும். ஒரு செம்மை வாயுவின் பருமை, இறுக்கம், தனியியல் சூடு இவற்றைத் தொடுக்கும் தொடர்பை நிரூபிக்கவும்.

ஒரு புகைக் கூண்டினுள்ளே 10,000 லிட்டர் காற்று 15°c சூட்டிலே 75 செ. மீ. இறுக்கத்தோடு அடைபட்டிருக்கிறது. இப்புகைக் கூண்டு பிளான்க் மலையின் உச்சிக்குப் போனபோது அதன் பருமை யாதாகும்? அங்கே பவனத்தின் இறுக்கம் 37 செ. மீட்டர்; சூடு —10°c ஆகும்.

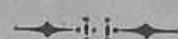
(சென்னை, மார்ச். 1929)

5. 760 மி. மீ. ரசநிரை இறுக்கம் கொண்ட ஈர மில்லாத நீராவி, 20°c சூட்டிலே, 1,000 க. செ. மீ. பருமைக்கு வியாபிக்கிறது. அது 750 மி. மீ. ரசநிரை இறுக்கத்திலே, 1,400 க. செ. மீட்டருக்கு வியாபிக்க வேண்டுமானல், அதன் பருமை யாதாக விருக்கவேண்டும்?

(ரங்கூன், 1931)

6. ஓரளவு காற்று 0°c சூட்டிலே, 20" ரசநிரை இறுக்கத்துக் குட்பட்டபோது, 10 க. அடி வியாபித்திருக்கிறது. 30°c சூட்டிலே, 1,200" ரசநிரை இறுக்கத்துக்குட்பட்டால், அதன் பருமை யாதாக இருக்கும்?

# அத்தியாயம் 5



## வெப்பத்தை அளத்தல் (Calorimetry)

வெப்ப அளவு :—தண்ணீர் நிறைந்த ஒரு கலத்தை அடுப்பில் வைத்துக் காய்ச்சினுல், அத்தண்ணீரின் சூடு அதிகரிக்கிறதென்பதை நாமறிவோம். இதற்குக் காரணம் அடுப்பிலிருந்து வெப்பம் என்பதொன்று கலத்தின் மூலமாக அதனுள்ளிருக்கும் தண்ணீருக்குள் பரவுவது தான் என்று முன்பு கூறினேம். அப்படியானுல் வெப்பம் என்பது யாது? அதை அளக்கமுடியுமா? என்னும் கேள்விகள் எழுகின்றன. வெப்பம் என்பது யாது என்பதைப்பற்றி கடைசி அத்தியாயத்தில் சிறிது கூறுவோம். இரண்டாவது கேள்விக்கு இங்கே விடையளிக்க முயலுவோம்.

சாமானிய அடுப்பின் அனலும் அதன் சூடும் மாறுந்தன்மை வாய்ந்தன; மற்றும் அவற்றை அளப்பது எளிதல்ல. எனவே நாம் இவற்றையெல்லாம் அளப்பதற்கும், கையாளுவதற்கும் எளிதான ஒரு மின்சார அடுப்பை எடுத்துக்கொள்வோம். மற்றும் இதை நீருக்குள்ளே முழுக்கி வைத்து அந்நீருக்குச் சூடேற்ற சௌகரியமாய் இருப்பதால், அது வெளியிடும் சூடெல்லாம் சிறிதும் வீணுகாமல் நீரைச் சுடவைப்பதிலேயே செலவழியும்; மேலும், மின்சார அடுப்பிலிருந்து வெளிவரும் வெப்பம் சீரான அளவினதாய் இருக்கும்.

ஒரு கலத்தில் நிறைந்துள்ள நீரில் மின்சார அடுப்பை முழுக வைத்து நீரைச் சுடவைப்போம். நீரை ஒரு சிறு கோலால் நன்ருகக் கலக்கிக்கொண்டே அதனுள் ஒரு உஷ்ணநிலைமானியை வைத்துப் பார்த்தோமானுல், அந்நீரின் சூடு சீரான வேகத்தோடு அதிகரிப்பதைக் காணலாம். நீரின் அளவை இரண்டு

மடங்கு ஆக்கினால், சூடேறும் வேகம் முன்னைய வேகத்தில் பாதியாகும். நீரின் அளவைப் பாதியாக்கினால், சூடேறும் வேகம் இரண்டு மடங்காகும். ஒரு அடுப்புக்குப் பதிலாக இரண்டு மின் அடுப்புகளைக்கொண்டு சுடவைத்தால் சூடேறும் வேகம் இரண்டு மடங்காகும். மற்றும் நீரை யெடுத்துவிட்டு, எண்ணெய் முதலிய வேறு ஏதாவது ஒரு திரவத்தைச் சுடவைத்தால், சூடேறும் வேகம் திரவத்திற்குத் திரவம் மாறுவதையும் காணலாம்.

எனவே, ஒரு பொருளில் ஏற்படும் சூட்டு அதிகரிப்பு (1) அதற்குக் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பத்திற்கு ஏற்பவும், (2) அப்பொருளின் நிறைக்கு எதிர் விகிதமாகவும் இருப்பதாகவும், (3) அது திரவத்தின் தன்மைக்குகந்தவாறு மாறுவதாகவும் தெரிந்துகொள்கிறோம். இதைக் கணக்கியல் முறையில் கூறுவது வருமாறு :—

$$t_2 - t_1 = \frac{Q}{ms}$$

இதில் $t_1$, $t_2$ என்பன பொருளின் முன் பின் சூடுகள். Q என்பது கொடுக்கப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவு. $m$ பொருளின் நிறையாகும். $s$ என்பது திரவத்தின் தன்மைக்கேற்ற ஒரு மாறிலி.

இதையே $Q = ms\,(t_2 - t_1)$ என்றும் எழுதலாம். எனவே, ஒரு பொருளுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவு அப்பொருளின் நிறைக்கும், அதிலேற்பட்ட சூட்டின் உயர்வுக்கும் ஏற்பவுள்ளது என்று கூறலாம்.

மேற்கண்டவற்றால் வெப்பத்தை அளவிடுவது சாத்தியம் என்றறிகிறோம். அளவிடுவதற்கு ஒரு அலகு வேண்டுமல்லவா ? வெப்பத்தை அளப்பதற்கு பல துறைகளில் பலவேறு அலகுகளைக் கையாளுகிறார்கள்.

பௌதிக வியலிலே கொள்ளப்படும் அலகின் வரை விலக்கணம் வருமாறு :—

ஒரு கிராம் தண்ணீருக்கு 1°c சூடேற்றுவதற்கு வேண்டிய வெப்பம் ஒரு அலகு வெப்பமாகும். இது 'கனலி' எனப்படும்.

ஆனால் ஒரு கிராம் தண்ணீருக்கு 1°c சூடேற்றுவதற்குவேண்டிய வெப்பம் எல்லாச் சூடுகளிலும் ஒன்றாயிருப்பதில்லை. ஆகையால் வெப்ப அலகை வரையறுத்துக் கூறும்போது இந்த 1°c சூடேறுதல், எந்தச் சூட்டிலிருந்து என்பதைத் தெளிவுபடுத்தவேண்டும். பௌதிகத் துறையிலே இதை $3\frac{1}{2}$°c-யிலிருந்து $4\frac{1}{2}$°c வரை என்று கொள்ளுவார்கள். ஆனால் சாமானியமாக இங்கிலாந்து முதலிய நாடுகளில் இந்த சூட்டுயர்வை அந்நாடுகளின் பொதுமைச் சூடான 15°c-க்கும் 16°c-க்கும் இடைப்பட்டதாகக் கொள்ளுவதுமுண்டு.

உயிரியல் (Biology) முதலிய துறைகளில் இந்தக் கனலியின் ஆயிரமடங்கான பெருங்கனலி உபயோகிக்கப்படுகிறது. பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலே ஒரு பவுண்டு தண்ணீரை 1°F க்கு சூடேற்றுவதற்குவேண்டிய வெப்பத்தை அலகாகக் கொள்வர். அது 'பிரிட்டிஷ் வெப்ப அலகு' எனப்படும். மேனாடுகளிலே வீடுகளுக்கு விளக்கேற்றுதல் முதலிய வேலைகளுக்குப் பயன்படும் கரியாவியைக் கொடுக்கும் கம்பெனியார்கள் 'திரம்' (therm) என்னும் ஓர் வெப்ப அலகைக் கையாளுகிறார்கள். அது 1,000 பவுண்டு தண்ணீரை 100°F க்குச் சூடேற்றுவதற்குவேண்டிய வெப்பமாகும். ஆகவே அது பிரிட்டிஷ் வெப்ப அலகைப் போன்று 100,000 மடங்கு கொண்டது.

வெப்பம் ஏற்கும் திறமை, வெப்ப உரிமை (Thermal capacity, Specific heat) :—ஒரே அளவுள்ள

வெப்பத்தை இரண்டு பொருள்களுக்கு ஊட்டினல் அவை வெவ்வேறு சூட்டிற்கு உயர்கின்றன. இதற்குக் காரணம் பொருள்களின் வெப்பமேற்கும் திறமை வேறு படுவதேயாம். வெப்பமேற்கும் திறமையின் வரைவிலக் கணம் வருமாறு :—

ஒரு பொருளின் வெப்பமேற்கும் திறமையென்பது அப்பொருளின் சூடு $1^{\circ}c$ அதிகரிக்க அதற்கு ஊட்ட வேண்டிய வெப்பமாகும்.

சீராக வெப்பத்தை ஊட்டிக்கொண்டிருக்கும் போது, ஒரே அளவுள்ள பல பதார்த்தங்களாகிய பல வேறு பொருள்களின் சூடு உயரும் வேகம் ஒன்ருயிரா மல் பலவாயிருக்கின்றன என்றறிந்தோம். இதற்குக் காரணம் பல பதார்த்தங்களின் வெப்ப உரிமை வேருய் இருப்பதேயாகும். வெப்ப உரிமையின் இலக்கணம் வருமாறு :—

ஒரு பதார்த்தத்தின் வெப்ப-உரிமையென்பது ஒரு கிராம் நிறையுள்ள அப்பதார்த்தத்திற்கு $1^{\circ}c$ சூடு அதி கரிக்க அதற்கு ஊட்டவேண்டிய வெப்பமாகும்.

$Q = ms\,(t_2 - t_1)$ என்று நாம் கண்ட சமீகரணத் தில் $m = 1\,;\ t_2 - t_1 = 1^{\circ}c$ என்று கொண்டால் $Q = s$ ஆகிறது. அதனல் இச்சமீகரணத்தில் $s$ என்பது வெப்ப-உரிமையாகும்.

வெப்ப-உரிமையென்பது ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பதார்த்தத்தின் வெப்பமேற்கும் திறமை என்று கூற லாம். வெப்பமேற்குந் திறமை ஒரு பொருளின் குண மாகும். வெப்ப உரிமையோ ஒரு பதார்த்தத்தின் குணம். செம்பின் வெப்ப உரிமை 0·093 ஆகும். ஆனல் செம்பினல் செய்யப்பட்ட பல வேறு கலங்களின் வெப்பமேற்கும் திறமை அவற்றின் நிறைக்கேற்றபடி மாறும். ஒரு பதார்த்தத்தின் வெப்ப-உரிமையை, அப்

பதார்த்தத்தால் செய்யப்பட்ட ஒரு பொருளின் நிறை யால் பெருக்க, அப்பொருளின் வெப்பமேற்கும் திறமை கிடைக்கும். உதாரணமாக, 512 கி. நிறையுள்ள ஒரு செம்புக் குவளையின் வெப்பமேற்கும் திறமை 47·62 கனலி ஆகும்.

வெப்ப உரிமை, கனலி ஆகிய இவற்றின் வரை விலக்கணங்களால், தண்ணீரின் வெப்ப-உரிமை ஒன்று என்பது பெறப்படும். ஒரு குறித்த அளவுள்ள தண் ணீரின் வெப்பமேற்குந் திறமை, அத்தண்ணீரின் நிறைக் குச் சமம். ஒரு பொருளின் வெப்பமேற்குந் திற மையை, அதன் நீர்-ஒப்புமை (water equivalent) என்று வழங்குதலும் உண்டு. நீர் ஒப்புமையின் வரை விலக்கணம் வருமாறு :—

ஒரு பொருளின் நீர் ஒப்புமை யேன்பது, அப் பொருளுக்குச் சமமான வெப்பமேற்குந் திறமை வாய்ந்த நீரின் நிறையாகும்.

வெப்பமானி :—வெப்பத்தை அளக்கும் முறை களைப்பற்றிக் கூறும் பௌதிகப் பிரிவை வெப்ப அளவியல் (calorimetry) என வழங்குவார்கள். எளிதாக வெப்பத்தை அளக்கும் கருவிக்கு வெப்பமானி என்று பெயர். இதிலே ஒரு உருளை வடிவான சிறிய செப்புக்கலம், மற்றொரு செப்புக் கலத்தினுள் அதன் சுவர்களைத் தொடாதபடி வைக்கப்பட்டிருக்கும் உட்கலத்தில் ஒரு செப்புத் துடுப்பு இருக்கும். அந்த உட்கலம் மூன்று மெல்லிய பஞ்சிழைகளால் தொங்க விடப்பட்டிருக்கும். அல்லது உட்கலத்திற்கும் வெளிக் கலத்திற்கும் இடையே பஞ்சு நிறைக்கப்பட்டிருக்கும். உட்கலத்தின் வெளிப்புறமும், வெளிக்கலத்தின் உட்புற மும் நன்றாகத் தேய்த்து மெருகிடப்பட்டிருக்கும். மானியிலே நாம் உட்கலத்தில் வெந்நீரைப் பெய்தால்

அதன் வெப்பம் தீட்டத்தால் (conduction) வெளிக் கலத்திற்குப் பரவாது. அது வெளிக்கலத்தால் சூழப் பட்டிருப்பதால் காற்றோட்டத்தால் ஏற்படும் விரவல் குறைவு (convection losses) மிகச் சிறியதாகும். மெருகிட்ட பரப்புகளிலிருந்து கதிர்ப்பு (Radiation) க் குறைவாக இருக்கும். மற்றும் அவை கதிர்களை அருந்து தலும் குறைவு. அதனால் உட்கலத்தின் வெப்பம் கதிர்ப் பினால் வெளிச் செல்லுதல் மிகக் குறைவாகும். இவற் றால் உட்கலத்தின் வெப்பம் எளிதில் குறைவதில்லை.

இந்த உட்கலத்தினுள் திடதிரவங்களைக் கலந்தால் அவற்றோடு கூடிய உட்கலத்தின் மொத்த வெப்பம் மாறுவதில்லை. ஆனால் அவ்வாறு கலக்கும்போது அந்தப் பலவேறு பொருள்களினிடையே ரசாயன மாறுபாடு ஏற்படுதல் கூடாது. இதையே மிசிர விதி (Law of mixtures) என்பார்கள். அது வருமாறு :—

சூடான பொருள்கள் இழந்த வெப்பம் குளிர்ந்த பொருள்கள் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பத்திற்குச் சமம்.

இந்த விதியை உபயோகித்தே வெப்பமானிகளால் வெப்பம் அளக்கப்படுகிறது. திடதிரவங்களின் வெப்ப உரிமைகளும் கணக்கிடப்படுகின்றன. நாம் முதலில் ஒரு மானியின் வெப்பமேற்குந் திறமை அல் லது நீர் ஒப்புமையை எவ்வாறு காண்பது என்று பார்ப் போம்.

வெப்பமானியின் உட்கலத்தை எடுத்துக் காலியா யிருக்கும்போது துடுப்புடன் அதன் நிறையைக் காணவும். அதில் ஏறக்குறைய மூன்றிலொரு பாகத் தைத் தண்ணீரால் நிரப்பி மறுபடியும் நிறுக்கவும். இவ்விரண்டு நிறைகளின் வேற்றுமையான $m$ என் பது அதில் நாம் எடுத்துக்கொண்ட தண்ணீரின் நிறையாகும். உட்கலத்தை வெளிக்கலத்தினுள் அத

னிடத்தில் வைத்து, அதிலுள்ள தண்ணீரை துடுப்பால் நன்ருகக் கலக்கி, அதன் சூட்டை ($t°c$) ஒரு நல்ல உஷ்ண நிலைமானியால் அளக்கவும். சிறிது வெந்நீரை எடுத்து அதன் சூட்டை ($T°c$) உஷ்ணநிலைமானியால் அளந்து கொண்டு, அதை வெப்பமானியின் உட்கலத்தில் அதன் மூன்றிலிரண்டு பாகம் நிரையும்வரை விடவும். வெந்நீர் விடுவதை நிறுத்திவிட்டு நீரை நன்ருகக் கலக்கி உஷ்ணநிலைமானியின் வாசகத்தைக் கவனித்து, அது அடைந்த உச்ச நிலைச் சூடாகிய $\theta$ க் குறித்துக் கொள்ளவும். உட்கலம் நன்ருக ஆறிய பிறகு எடுத்து அதை நிறுக்கவும். இதற்கும் இரண்டாவது நிறைக்கும் உள்ள வேற்றுமையாகிய M நாம் சேர்த்த வெந்நீரின் நிறையாகும்.

வெந்நீரைக் கலந்து கலக்கியபொழுது வெந்நீர் வெப்பத்தை இழந்தது; தண்ணீரும் வெப்பமானியும் வெப்பத்தை ஏற்றுக்கொண்டன. வெந்நீர் இழந்த வெப்பத்தின் அளவு $M(T-\theta)$.

தண்ணீர் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பத்தின் அளவு $m(\theta-t)$.

வெப்பமானி ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பத்தின் அளவு $w(\theta-t)$. இதில் $w$ என்பது வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமை.

மிசிரவிதியால், இழந்த வெப்பத்தையும் ஏற்றுக் கொண்ட வெப்பத்தையும் ஒப்பிட,

$$M(T-\theta) = m(\theta-t) + w(\theta-t) \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது } w = \frac{M(T-\theta)}{(\theta-t)} - m$$

உட்கலத்தைத் துடுப்புடன் நிறுத்து, அந்த நிறையை அவை செய்யப்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப

உரிமையால் பெருக்கியும் நீர் ஒப்புமையை அடையலாம்.

திடப்பொருள்களின் வெப்ப உரிமை காணல் :— திடப்பொருள்களின் வெப்ப-உரிமைகளை வெப்பமானியின் உதவியால் மிசிர முறையிலே எளிதாகக் கண்டு பிடிக்கலாம். ஒரு மானியை நிறுத்து, அதில் பாதி நிரம்பும்படி தண்ணீர்விட்டு, மறுபடியும் அதை நிறுக்கவும். இவ்விரண்டு நிறைகளின் பேதமாகிய $m$ நாம் மானியில் எடுத்துக்கொண்ட தண்ணீரின் நிறையாகும். நீரை நன்ருகக் கலக்கி அதன் சூடாகிய $t$யை ஒரு நல்ல உஷ்ணநிலைமானியால் அளவிடவும். வெப்ப-உரிமை காணவேண்டிய பதார்த்தத்தில், வெப்பமானியுள் போடக்கூடிய ஒரு சிறு துண்டை எடுத்து அதைக் காய்ச்சவும். அதன் சூடாகிய T-யை ஒரு உஷ்ணநிலைமானியால் நிர்ணயித்துக்கொண்டு, அதை வெப்பமானியில் உள்ள தண்ணீரில் போடவும். தண்ணீரை நன்ருகக் கலக்கிக்கொண்டே அதன் சூட்டை ஒரு உஷ்ணநிலைமானியால் காணவும். உஷ்ணநிலைமானி காட்டும் உச்ச நிலைச் சூடாகிய $\theta$-வைக் குறித்துக் கொள்ளவும். நன்ருக ஆறிய பிறகு வெப்பமானியை அதிலுள்ள பொருள்களோடு நிறுக்கவும். இந்த நிறைக்கும் இரண்டாவது நிறைக்கும் உள்ள பேதமாகிய M, நாம் எடுத்துக்கொண்ட திடப்பொருளின் நிறையாகும்.

வெப்பமானியின் நீர்ஒப்புமை $w$ என்று கொள்வோம். இதை முன்பு கூறிய பரிசோதனை முறையிலாவது, அல்லது வெப்பமானி ஆக்கப்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப-உரிமையை அதன் நிறையினுல் பெருக்கியாவது காணலாம். நிற்க, திடப்பொருளின் வெப்ப-உரிமை S ஆனுல்

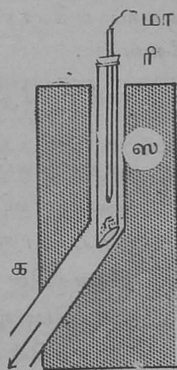
திடப்பொருள் இழந்த வெப்பம் $= \mathrm{M}\,(\mathrm{T}-\theta)\,\mathrm{S}$.

வெப்பமானியும் அதிலுள்ள தண்ணீரும் ஏற்றுக் கொண்ட வெப்பம் $(m+w)\,(\theta-\mathrm{T})$.

மிசிர விதியினுல் $\mathrm{M}\,(\mathrm{T}-\theta)\,\mathrm{S} = (m+w)\,(\theta-\mathrm{T})$

அல்லது $\mathrm{S} = \dfrac{(m+w)\,(\theta-\mathrm{T})}{\mathrm{M}\,(T-\theta)}$

இந்தப் பரிசோதனையில் திடப்பொருளைக் காய்ச்சி அதன் சூட்டைத் திருத்தமாக அளக்கவேண்டும்; அது குளிர்ந்துவிடுமுன் விரைவிலே வெப்பமானியினுள் போட்டுவிடவேண்டும். அறையின் சூட்டைவிட மிக உயர்ந்த சூட்டில் உள்ள திடப்பொருள்களின் சூடு விரைவிலே குறைந்துவிடும். ஆதலின், அதைத் திருத்தமாக அளப்பதும், அது சிறிது குளிர்ந்துவிடுமுன் வெப்பமானியினுள் போட்டுவிடுதலும் எளிதில் செய்யக்கூடியவையல்ல. அவ்வாறு செய்வதற்கான ஒரு சாதனத்தின் படம் வரையப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 181). ஒரு உருளை வடிவமான செப்புக்கலத்தின் மேல்மூடிக்கும் அதனடியில் ஒரு சுவற்றுக்குமாக, ஸக என்னும் விரிகோணம் உண்டாக மடக்கப் பட்டுள்ள செப்புக் குழாய் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இதனுள்ளே ரீ என்ற மற்ருெரு செப்புக்குக் குழாய் செருகப்பட்டுள்ளது. இதனுள்ளே நாம் வெப்பஉரிமை காணவேண்டிய பதார்த்தத்தின் துணுக்குகள் போடப்பட்டிருக்கின்றன. இக்குழாயின் வாய் மா என்னும் உஷ்ணநிலைமானி செருகப்பட்ட ஒரு அடைப்பானுல் மூடப்பட்டிருக்கிறது. இக்கலத்தினடியில் தண்ணீர்



படம் 181

நிரப்பிக் காய்ச்சப்படும். வேண்டிய அளவுக்குச் சூடேறியவுடன், அந்தச் சூட்டை உஷ்ணநிலைமானியால் அளந்துகொண்டு, வெப்பமானியை க என்ற குழாயின் வாயினடியில் வைத்துக்கொண்டு, ரீ-யைச் சிறிது உயரத் தூக்கியவுடன், அதிலிடப்பட்ட துணுக்குகள் குழாயின் வழியாக விரைவில் நழுவி வந்து, வெப்பமானியினுள் விழுந்துவிடும். பின்னர், பரிசோதனையை முன்கண்டவாறு நடத்திக்கொண்டு போகலாம்.

திரவப்பொருள்களின் வெப்ப-உரிமை காணல் :- திடப்பொருளின் வெப்ப-உரிமை காணுவதற்கு நாம் செய்த பரிசோதனையையே திருப்பிச்செய்து ஒரு திரவத்தின் வெப்ப-உரிமையை நாம் காணலாம். ஆனால் இதில் நாம் எடுத்துக்கொள்ளும் திடப்பொருளின் வெப்ப-உரிமை நமக்குத் தெரிந்திருக்கவேண்டும். நாம் வெப்பஉரிமை காணவேண்டிய திரவத்தைத் தண்ணீருக்குப் பதிலாக வெப்பமானியில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும்.

நாம் எடுத்துக்கொண்ட திரவத்தின் நிறை $m$ என்றும்
அதன் வெப்பஉரிமை $s$ என்றும்
வெப்பமானியின் நீர்ஒப்புமை $w$ என்றும்
திடப்பொருளின் நீர்ஒப்புமை M என்றும்
திரவத்தின் முன்னைய சூடு $t$ என்றும்
திடப்பொருளின் உயர்ந்த சூடு T என்றும்
திரவத்தின் பின்னைய சூடு $\theta$ என்றும் கொள்வோம்.

திடப்பொருள் இழந்த வெப்பம் $M(T-\theta)$.

திரவமும் வெப்பமானியும் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பம் } $(ms+w)(\theta-t)$.

அதனால் $M(T-\theta) = (ms+w)(\theta-t)$.

$$\text{அல்லது } s = \frac{M(T-\theta) - w(\theta - t)}{m(\theta - t)}$$

இவ்வாறு வாய்பாடுகளை அமைத்திருந்தாலும் அவ்வப்போது பரிசோதனைகள் செய்து கணக்கிடும்போதும், மற்றும் கணக்குகளை போடும்போதும், உயர்ந்த சூடுள்ள பொருள்கள் இழந்த வெப்பத்தையும், தாழ்ந்த சூடுள்ள பொருள்கள் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பத்தையும், தனித் தனியே கண்டு, ஒப்பிட்டு, ஈவு காணுதலே சிறந்த முறையாகும்.

**சூடும், வெப்ப-உரிமையும்** :—சாதாரணமாக வழங்கும் சூடுகளிலெல்லாம் தாதுக்களின் (Elements) வெப்பஉரிமை சூட்டோடு மாறுபடுவதில்லை. ஆனால் 250°c க்கு மேலே பல தாதுக்களின் வெப்ப உரிமை சூட்டோடு அதிகரிக்கின்றன. அவ்வாறே —100°c க்குக் கீழே பல தாதுக்களின் வெப்ப உரிமை குறைவடைகின்றன. தனியியல் சூனியத்திற்கு அருகே எல்லா தாதுக்களின் வெப்பஉரிமைகளும் சூனிய மதிப்பை அடைகின்றன.

**ட்யூலாங்-பேடிட் (Dulong & Petit) விதி** :—ஏறக்குறைய 100 ஆண்டுகளுக்கு முன் ட்யூலாங், பெடிட் என்னும் இரண்டு விஞ்ஞானிகள் இரும்பு, காரீயம், வெள்ளி, பொன் முதலிய பல தாதுக்களின் வெப்ப உரிமைகளை நிர்ணயித்து, பின்கண்ட முடிவை வெளியிட்டனர்.

'வெப்பஉரிமையை அணுநிறையால் (Atomic weight) பெருக்கிவந்த தொகை, எல்லா தாதுக்களுக்கும் சமம்'. இப்பெருக்குத் தொகை அணுவெப்பம் (Atomic heat) எனப்படும். இதன் மதிப்பு ஏறக்குறைய 6·4 கனலியாகும். நீரகம், பெரிலியம், போரான், கரி, சிலிகன் என்னும் தாதுக்கள் மட்டும் இவ்விதிக்கு விலக்காக இருக்கின்றன. ஆனால் மிக உயர்ந்த சூடு

களில் இவையும் இந்த விதிக்குக் கட்டுப் படுவதாகத் தெரிகிறது.

உயர்ந்த சூடுகளை அளத்தல் :—அனலிகள், அடுப்புகள் போன்ற உயர்ந்த சூடுள்ள பொருள்களின் சூடுகளை அளப்பதற்குப் பின் கண்ட முறையொன்று கையாளப்படுகிறது. $w$ என்னும் நீர்-ஒப்புமை கொண்டதொரு வெப்பமானியிலே முக்கால் பங்கு வரைத் தண்ணீரால் நிரப்பவும். நிறுத்து, இத்தண்ணீரின் எடையாகிய $W$-வைக் கண்டுகொள்ளவும். துடுப்பினாலே தண்ணீரை நன்றாகக் கலக்கிவிட்டு, அதன் சூடாகிய $T_1$ ஐ ஒரு நல்ல உஷ்ணநிலைமானியினுதவியால் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். ஒரு சிறு உலோகக் குண்டை எடுத்து அதன் நிறையாகிய $m$ காணவும். இக்குண்டை சூடு அளக்கவேண்டிய அனலியிலாவது, அடுப்பிலாவது இட்டுக் காய்ச்சவும். அது விரைவிலே அடுப்பின் சூட்டை அடைந்துவிடும். இப்போது விரைவிலே அக்குண்டை எடுத்து வெப்பமானியில் உள்ள தண்ணீரில் இட்டுத் தண்ணீரை நன்றாகக் கலக்கவும். உச்சநிலை சூடாகிய $T_2$ வை உஷ்ணநிலைமானியால் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். உலோகத்தின் உரிமை-வெப்பம் $s$ என்றும், அடுப்பின் சூடு $\theta$ என்றும் கொள்வோம்.

உலோகக் குண்டு இழந்த வெப்பம் $ms\ (\theta - T_2)$. வெப்பமானியும் தண்ணீரும் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பம் $(W + w)\ (T_2 - T_1)$.

இவையிரண்டும் சமமாக இருக்கவேண்டுமாதலால்

$$ms\ (\theta - T_2) = (W + w)\ (T_2 - T_1).$$

அல்லது $\theta = \dfrac{(W + w)\ (T_2 - T_1)}{ms} - T_2$ ஆகும்.

குண்டை அடுப்பிலிருந்து எடுத்துத் தண்ணீரினுள் போடுவதற்குள் அது இழந்த வெப்பத்தை நாம் கணக்

கிட முடியாது. மற்றும் குண்டு தண்ணீரில் பட்டவுடன் சிறிதளவு தண்ணீர் தீய்ந்து ஆவியாகும். அதையும் நாம் கணக்கிடமுடியாது. எனவே இந்த முறையினுல் காணப்பட்ட சூடு உண்மையான சூட்டைவிட சற்று குறைந்தே இருக்கும்.

முக்கியமான சில திட திரவங்களின் வெப்ப-உரிமைகள் வருமாறு :—

| | | | |
|---|---|---|---|
| அலுமினியம் | 0·2200 | நிமிளை | 0·0304 |
| இரும்பு (தேனிரும்பு) | 0·1150 | கண்ணுடி | 0·1900 |
| இரும்பு (வார்ப்பு) | 0·1190 | பனிக்கட்டி | 0·5020 |
| காரீயம் | 0·0305 | பித்தளை | 0·0890 |
| செம்பு | 0·0936 | பிளாடினம் | 0·0323 |
| நாகம் | 0·0935 | பொன் | 0·0316 |
| நிலகம் (nickel) | 0·1090 | வெள்ளி | 0·0560 |
| ஈதர் | 0.53 | காலகக்காடி (Nitric acid) | 0·82 |
| கரியிருகந்தகை (Carbon-di-Sulphide) | 0·24 | பாதரசம் | 0·033 |
| கரிநீர்ப்பாகு (Glycerine) | 0·58 | சோரியம் (Bromine) | 0·11 |
| மயக்கமருந்து (Chloroform) | 0·23 | பென்ஜீன் (Benzene) | 0·41 |
| சாராயம் | 0·60 | மர எண்ணெய் | 0·41 |
| தண்ணீர் | 1·00 | | |

உதாரணம் 1. ஒரு வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமை 9. இதிலே 30°c சூடு கொண்ட 150°c கிராம் திரவம் இருக்கிறது. இதனுள்ளே 95°c சூடுகொண்ட 100 கிராம் ஈய ரவைகள் போடப்பட்டன. இதன்

பயனிலச் சூடு $33^\circ c$ ஆயிற்று. ஈயத்தின் வெப்ப-உரிமை 0·03 ஆனல் திரவத்தின் வெப்ப-உரிமை யாதாகும் ?

திரவத்தின் வெப்ப-உரிமை $s$ என்று கொள்வோம்.

அதன் நீர்-ஒப்புமை $150\ s$ கிராம்.

ஈயரவைகளின் நீர்-ஒப்புமை $100 \times \cdot 03$

$= 3 \cdot 0$ கிராம்.

திரவத்தின் சூடு-உயர்ச்சி $33^\circ c - 30^\circ c = 3^\circ c$

ஈய ரவைகளின் சூட்டுத்தாழ்வு

$95^\circ - 33^\circ c = 62^\circ c.$

திரவமும் வெப்பமானியும் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பம் $= (9 + 150\ s)\ 3$ கனலி.

ஈயரவைகள் இழந்த வெப்பம் $3 \times 62$ கனலி.

இவையிரண்டும் சமமாக வேண்டுமாதலால்

$(9 + 150\ s) = 3 \times 62$

அல்லது $s =$ **·353.**

உதாரணம் 2. ஒரு பிளாடினம் குண்டின் நிறை 200 கிராம். இது நன்ருகச் சூடேற்றப்பட்ட பின் $0^\circ c$ சூட்டிலேயுள்ள 150 கிராம் தண்ணீரிலே போடப்பட்டது. தண்ணீரின் சூடு $30^\circ c$ ஆயிற்று. குண்டு இழந்த வெப்பம் முழுவதையும் தண்ணீரே ஏற்றுக்கொண்டதாகக்கொண்டு, அக் குண்டின் சூடு முதலில் யாதாக இருந்திருக்குமென்று காண்க ?

முதலில் குண்டின் சூடு $T^\circ c$ இருந்ததென்று கொள்வோம். பிளாடினத்தின் வெப்ப உரிமை 0·032.

குண்டின் சூட்டு வீழ்ச்சி $(T - 30^\circ)c$.

தண்ணீரின் சூட்டுயர்வு $(30 - 0) = 30^\circ c$.

குண்டு இழந்துவிட்ட வெப்பம் = $200 \times \cdot 032$ $(T-30)$ கனலி.

தண்ணீர் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பம் $150 \times 30$.

இவையிரண்டும் சமமாகையால்

$$200 \times \cdot 032\,(T-30) = 150 \times 30 \text{ கனலி.}$$

அல்லது $T = 673 \cdot 1^{\circ}c$.

குண்டின்சூடு $673 \cdot 1^{\circ}c$ ஆகும்.

---

## வினக்கள்

1. உருளை வடிவமான ஒரு பித்தளைத் தொட்டியிலே, 30°c சூடு கொண்ட 2 காலன் தண்ணீர் இருக்கிறது. 50°c கொண்ட தண்ணீராக வேண்டுமானல், 100°c சூட்டிலே இருக்கும் எத்தனை காலன் தண்ணீரை இதனோடு கலக்கவேண்டும். (கிரணித்ததால் ஏற்படக் கூடிய வெப்பக் குறைவை ஒதுக்கிவிடவும்.)

ஒரு காலன் தண்ணீரின் நிறை 4,536 கிராம். கலத்தின் அளவைகளாவன : உயரம் = 25 செ. மீட்டர். விட்டம் 20 செ. மீட்டர். தகட்டின் கனம் 1 மி. மீட்டர். பித்தளையின் செறிவு = 8 கிராம் | க. செ. மீ.

(சென்னை மார்ச். 1922)

2. 'வெப்ப-உரிமை', 'நீர்-ஒப்புமை' என்ற சொற்றொடர்களுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. ஒரு வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமையை எவ்வாறு பரிசோதனையால் காணலாமென்று விவரித்துக்கூறுக.

ஒரு வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமை 12. இதில் 240 கிராம் நிறைகொண்டதொரு திரவம் இருக்கிறது. இதன் சூடு 14°c. 72 கிராம் நிறையுள்ளதொரு செப்புக் கட்டை, 100°c சூட்டிற்குக் காய்ச்சப்பட்டு, வெப்பமானியினுள்ளே போடப்பட்டது. திரவத்தின் பயனிலைச் சூடு 18·2°c ஆயிற்று. இத்திரவத்தின் வெப்ப-உரிமையைக் கணக்கிடுக.

செம்பின் வெப்ப உரிமை = ·093

(சென்னை மார்ச். 1925)

3. 'கரவு-வெப்பம்', 'வெப்ப-உரிமை' என்ற சொற்றொடர்களின் பொருள் யாவை ?

300 கிராம் நிறைகொண்டதொரு செப்புக் கலத்திலே, 50 கிராம் பனிக்கட்டியோடு 50 கிராம் தண்ணீர்

கலந்திருக்கிறது. 500 கிராம் நிறை கொண்டதொரு இருப்புக் குண்டு 300°c வரை சூடேற்றப்பட்டு இக்கலத்தினுள்ளே போடப்பட்டது. இதனால் யாது நிகழும்?

இரும்பின் வெப்ப-உரிமை 0·112; செம்பின் வெப்ப-உரிமை 0·094· தண்ணீரின் கரவு-வெப்பம் 80; நீராவியின் கரவு வெப்பம் = 540.

(சென்னை மார்ச். 1920)

4. ஈய ரவைகளைக்கொண்டு ஈயத்தின் வெப்ப-உரிமையை எவ்வாறு பரிசோதனையால் காணலாமென்று விவரித்துக் கூறுக.

ஒரு வெப்பமானியிலே 25°c சூடு கொண்ட 67·8 கிராம் தண்ணீர் இருக்கிறது. இதனோடு 50°c சூடு கொண்டிருக்கும் 50·2 கிராம் வெந்நீர் கலக்கப்படவே பயனிலைச் சூடு 35°c ஆயிற்று. வெப்பமானியின் நிறை 83·3 கிராம். அது செய்யப்பட்டுள்ள பொருளின் வெப்ப-உரிமை காண்க.

(அண்ணாமலை 1933)

5. ஒரு உலோகத்தின் வெப்ப-உரிமையைக் காண்பதற்குரியதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

·20 கிராம் நிறையுள்ளதொரு கண்ணாடிக் குவளையிலே (வெ. உ. 0·16) 10°c சூடுகொண்ட 200 கிராம் பாதரசம் (வெ. உ. 0·33) இருக்கிறது. இதிலே 80°c சூடும கொண்டதும், 100 கிராம் நிறையுள்ளதொரு இரும்புக் குண்டு (வெ. உ. 0·12) போடப்பட்டது. இதன் பயனிலைச் சூடு யாதாகும்?

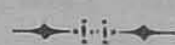
(ஆக்ஸ். 1927)

6. ஒரு வெப்பமானியிலே 15°c சூட்டிலேயுள்ள 30 கிராம் டர்பன்டைன் எண்ணெய் இருக்கிறது. 98°c சூட்டிலேயுள்ள ·45 கிராம் இரும்பை இதனுள்ளே

போடவே எண்ணெயின் சூடு 32°c ஆயிற்று. இரும்பின் உரிமை வெப்பம் ·112. வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமை 6 கிராம். எண்ணெயின் வெப்ப உரிமை காண்க.

---

# அத்தியாயம் 6



## நிலைமை மாறுதல் (Change of State)

நிலைமைகளின் தொடர்பும் கரவு-வெப்பமும் (Continuity of State and Latent heat):—திரவப்பொருளாகிய தண்ணீர் காய்ச்சப்பட்டால் வாயுப் பொருளாகிய ஆவியாகிறது. குளிரச் செய்தால் திடப் பொருளாகிய பனிக்கட்டியாகிறது. இத்தகைய தன்மை ஏறக்குறைய எல்லாப் பொருள்களிடத்தும் காணப்படுகிறது. நாம் திடப்பொருளாகவே கருதியிருக்கும் இரும்பு, செம்பு முதலிய உலோகங்களும் நன்றாக காய்ச்சப்பட்டால், உருகி, திரவமாவதை நாமறிவோம். அவற்றைப் பின்னும் காய்ச்சி ஆவியாகவும் மாற்றலாம். இவ்வாறே நீரக வாயு, தீயக வாயு முதலிய வாயுப் பொருள்களை குளிர்வித்து திரவங்களாகவும், பின்னும் குளிர்வித்து திடப்பொருள்களாகவும் மாற்றலாம். எனவே திட, திரவ, வாயுநிலைகள் இடைவிட்டிராமல் ஒன்றையொன்று தொடர்ந்தே யிருக்கின்றன. ஆனால் இவ்வாறு பொருள்கள் நிலைமாறும்போது சில விநோத நடவடிக்கைகள் அவற்றினிடத்து காணப்படுகின்றன. அவற்றை இப்போது விசாரிப்போம்.

ஒரு கண்ணுடிக் கலத்தில் தண்ணீரை விட்டுக் காய்ச்சுவோம். ஒரு உஷ்ணநிலைமானியை அதிலிட்டுத் தண்ணீரின் சூடு ஏறுவதைக் கவனிப்போம். சூடு மெதுவாக உயர்ந்து 100°c யை அடைந்தவுடன் நீர் கொதிக்க ஆரம்பிக்கிறது. நீரெல்லாம் விரைவாக ஆவியாக மாறுகிறது. ஆனால் அதன் பிறகு எவ்வளவு காய்ச்சினாலும் தண்ணீரின் சூடு மட்டும் 100°c யிலேயே நிற்கிறது. இதன் காரணம் யாது? காய்ச்சுவதனால்

நாம் மேலும் மேலும் வெப்பத்தை நீரினுள் செலுத்துகிறோம். அது நீரைப் பின்னும் சுடவைக்கவில்லையானால் பின் என்ன செய்கிறது? அவ்வெப்பம், நீரை ஆவியாக மாற்றும் தொழிலில் ஈடுபட்டிருக்கிறது. நீரின் சூட்டை அதிகரிக்க எவ்வாறு வெப்பம் அவசியமாயிற்றோ, அவ்வாறே 100°c சூட்டில் உள்ள நீரை ஆவியாக மாற்றுவதற்கும் வெப்பம் அவசியமாகிறது. நீராவியின் சூடும் 100°c தான் என்பதை உஷ்ணநிலை மானியால் அளந்து அறியலாம். எனவே 100°c சூட்டிலிருந்த நீரை 100°c சூடுள்ள ஆவியாக மாற்றிய வெப்பம், ஆவியினுள் ஒளிந்துகொண்டிருக்கிறது என்று கூறலாம். இந்த வெப்பத்தை கரவு-வேப்பம் (latent heat) என்பார்கள். கரவு-வெப்பம் சூட்டை அதிகரிக்காமல் பொருளின் நிலையை மட்டும் மாற்றிவிடுகிறது. மேற்கூறியவாறு நீரை நீராவியாக மாற்றும் வெப்பம் நீராவியின் கரவு-வெப்பம் எனப்படும். இதையே கொதிநிலை கரவு-வெப்பம் என்று கூறுதலும் உண்டு.

மற்றும் இதைப்போலவே பனியிளகு நிலையிலும் ஏற்படுகிறது. ஒரு சோதனைக் குழாயினுள் சிறு பனிக்கட்டித் துணுக்குகளை யிட்டு அதில் ஒரு உஷ்ண நிலைமானியைச் செருகிவைக்கவும். மானியின் வாசகத்தை நோக்கினால் அது 0°c ஆக இருப்பது தெரியவரும். சோதனைக் குழாயின் அடிப்பாகத்தைக் கையால் பிடித்துக்கொண்டிருந்தால், கையிலிருந்து வெப்பம் குழாயினுள் செல்வதை உணரலாம். இவ்வாறு பனிக்கட்டியினுள் வெப்பம் செலுத்தப்பட்டாலும் அதன் சூடு அதிகரிப்பதில்லை. மானி 0°c சூட்டையே காட்டுகிறது. குழாயிலே புகுந்த வெப்பமெல்லாம் பனிக்கட்டியை நீராக மாற்றுவதிலேயே செலவழிகிறது. பனிக்கட்டி முழுவதும் நீரான பிறகு மானியின் வாசகம் உயர்வதைக் காணலாம். பனிக்கட்டி உருகிய

பொழுது நாம் கொடுத்த வெப்பமெல்லாம் தண்ணீரினுள் ஒளிந்திருப்பதாகக் கூறலாம். இந்த வெப்பமே பனிக்கட்டியின் கரவு-வெப்பம் எனப்படும். இதையே உருகுநிலைக் கரவு-வெப்பம் என்று கூறுதலும் உண்டு.

தண்ணீரைப் போலவே மற்ற பொருள்களுக்கும் உருகுநிலைக் கரவு-வெப்பமும், கொதிநிலைக் கரவு-வெப்பமும் உண்டு. அவற்றைத் திடநிலையிலிருந்து திரவ நிலைக்கு மாற்றுவதற்கு ஒரு குறித்த அளவுள்ள உருகுநிலை கரவு-வெப்பம் தேவை. அவ்வாறே அவற்றைத் திரவநிலையிலிருந்து வாயுநிலைக்கு மாற்ற ஒரு குறித்த அளவுள்ள வெப்பம் தேவை.

பொதுவாக, உருகுநிலைக் கரவு-வெப்பத்தின் வரைவிலக்கணம் வருமாறு :—

ஒரு பதார்த்தத்தினது உருகு-நிலைக்கரவு வெப்பமென்பது, ஒரு அலகு நிறையுள்ள அப்பதார்த்தத்தை, சூடு மாறுபாடு ஏற்படாமல், திட நிலையிலிருந்து திரவ நிலைக்கு மாற்றுவதற்கு வேண்டிய வெப்பமாகும்.

இவ்வாறே பொதுவாக கொதிநிலைக் கரவு-வெப்பத்தின் வரைவிலக்கணம் வருமாறு :—

ஒரு பதார்த்தத்தினது கோதி நிலைக் கரவு-வெப்பமென்பது, ஒரு அலகு நிறையுள்ள அப்பதார்த்தத்தை, சூடு மாறுபாடு ஏற்படாமல், திரவ நிலையிலிருந்து வாயு நிலைக்கு மாற்றுவதற்கு வேண்டிய வெப்பமாகும்.

## கரவு-வெப்பங்களைக் காணல்

நீரின் கரவு-வெப்பத்தைக் காணும் முறை வருமாறு :—ஒரு வெப்பமானியைக் காலியாக வைத்து அதன் நிறையைக் காணவும். அதில் பாதி நிரம்புமாறு தண்ணீர்விட்டு மறுபடியும் நிறை காணவும். இவ்விரண்டின் பேதமாகிய $m_1$ எடுத்துக்கொண்ட

தண்ணீரின் நிறையாகும். இத்தண்ணீரை நன்றாகக் கலக்கி அதன் சூடாகிய $t$ யை ஒரு உஷ்ணநிலைமானி யால் காணவும். ஒரு பனிக்கட்டியை உடைத்துக் கொட்டைப் பாக்கு அளவுள்ள சிறு துண்டுகளாகச் செய்து, ஒவ்வொன்றையும் உறிஞ்சுதாளால் ஒற்றி, ஈரத்தைத் துடைத்துவிட்டு, மெதுவாக வெப்ப மானியிலுள்ள தண்ணீரில் போடவும். நன்றாகக் கலக்கிக் கொண்டே தண்ணீரின் சூடு குறைவதை உஷ்ண நிலைமானியில் கவனிக்கவும். சூடு சுமார் 5° கீழிறங்கிய வுடன் பனிக்கட்டித் துண்டுகளைப் போடுவதை நிறுத்திவிட்டு, தண்ணீரை நன்றாகக் கலக்கி, உஷ்ணநிலை மானியின் நீச நிலைச் சூடாகிய $\theta$ வைக் குறித்துக் கொள்ளவும். பிறகு வெப்பமானியை அதிலுள்ள தண் ணீரோடு மறுபடியும் நிறுக்கவும். இந்த நிறைக்கும் இரண்டாவது கண்ட நிறைக்கும் உள்ள பேதமாகிய ($m$), நாம் சேர்த்த பனிக்கட்டியின் நிறையாகும்.

வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமை ($w$) என்று கொள் வோம். நீரின் கரவு-வெப்பத்தை (L) என்று குறிப் பிடுவோம்.

வெப்பமானியும் அதிலிருந்த நீரும் இழந்த வெப் பம் $(m_1+w)\,(t-\theta)$ ஆகும். பனிக்கட்டி ஏற்றுக் கொண்ட வெப்பம்

(1) உருகும்போது $m\mathrm{L}$.

(2) $0°c$ யிலிருந்து சூடுயரும்போது $m\,\theta$.

ஆகமொத்தம் $m\,(\mathrm{L}+\theta)$.

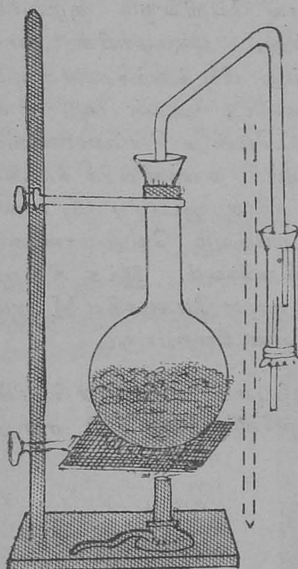
இழந்த வெப்பத்தையும் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பத் தையும் ஒப்பிட,

$$m\,(\mathrm{L}+\theta) = (m_1+w)\,(t-\theta).$$

$$\text{அல்லது } L = \frac{(m_1 + w)(t - \theta) - m\theta}{m}$$

இவ்வாருக கரவு-வெப்பமாகிய L ஐக் காணலாம். அதன் திருத்தமான மதிப்பு 80 கனலிகள் ஆகும்.

நீராவியின் கரவு-வேப்பம் காணும் முறை வருமாறு:—(படம் 182). இந்தப் பரிசோதனையைச் செய்வதற்கு ஈரமில்லாத நீராவி வேண்டும். இதற்காக ஒரு சாதனம் கையாளப்படுகிறது. ஒரு கண்ணுடி அல்லது செப்புக் கலயத்தில் நீர் பெய்து காய்ச்சப்படுகிறது. இக் கலயத்தின் வாய் கண்ணுடிக்குழாய் செருகப்பட்ட அடைப்பானுல் மூடப்பட்டிருக்கிறது. இந்தக் குழாய் இரு முறை மடக்கி மற்ருெரு அடைப்பானின் வழியாக, ஒரு அகன்ற கண்ணுடிக் குழாயின் அடிவரையில் செலுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்த அகன்ற குழாயின் அடிவாய், மற்ருெரு கண்ணுடிக்குழாய் செருகப்பட்ட அடைப்பானுல் மூடப்பட்டிருக்கிறது. இதனுல் கலயத்திலிருந்து நீராவியுடன் கலந்துவரும் ஈரமெல்லாம் ஒன்றுசேர்ந்து நீராகி, அகன்ற கண்ணுடிக்குழாயின் அடியில் தங்கிவிட, ஈரமில்லாது உலர்ந்த நீராவிமட்டும்



படம் **182**

அகன்ற குழாயின் அடியில் செருகப்பட்ட கண்ணாடிக் குழாய் வழியாக வெளிவருகிறது.

ஒரு வெப்பமானியை அதன் துடுப்புடன் நிறுக்கவும். பிறகு அதில் பாதி நிரப்பும்படி தண்ணீரைப் பெய்து நிறுக்கவும். இவ்விரண்டு நிறைகளின் பேதமாகிய $(m)$, எடுத்துக்கொண்ட நீரின் நிறையாகும். அதை நன்றாகக் கலக்கி அதனுடைய சூடாகிய $(t)$ யை ஒரு உஷ்ணநிலைமானியால் காணவும். பிறகு விரைவாக வெப்பமானியை நீராவி வெளிவரும் குழாயின் வாயினடியில் கொண்டுவந்து, அக்குழாயின் வாய் நீரினுள் முழுகும்படி செய்து பிடித்துக்கொள்ளவும். தண்ணீரைக் கலக்கிக்கொண்டே, அதன் சூடு ஏறக்குறைய 5° ஏறியவுடன், சட்டென்று வெப்பமானியை நீக்கி வெளியிலெடுத்துவிடவும். தண்ணீரைக் கலக்கிக் கொண்டே அதன் உச்ச நிலைச் சூடாகிய $(\theta)$ வைக் காணவும். இப்போது மறுபடியும் வெப்பமானியை அதிலுள்ள தண்ணீரோடு நிறுக்கவும். இந்த நிறைக்கும் இரண்டாவது நிறைக்குமுள்ள பேதமாகிய M நாம் நீரினுள் செலுத்திய நீராவியின் நிறையாகும்.

வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமை $(w)$ என்று கொள்வோம். நீராவியின் கரவு-வெப்பத்தை (L) என்று குறிப்பிடுவோம்.

நீராவி இழந்த வெப்பம்,

(1) நீரானபோது ML,

(2) குளிர்ந்தபோது $M(100-\theta)$,

ஆக மொத்தம் $ML + M(100-\theta)$.

வெப்பமானியும் அதிலிருந்த தண்ணீரும் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பம் $(m+w)(\theta-t)$. இழந்த வெப்பத்தையும் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பத்தையும் ஒப்பிட,

$$ML + M(100-\theta) = (m + w)(\theta - t).$$

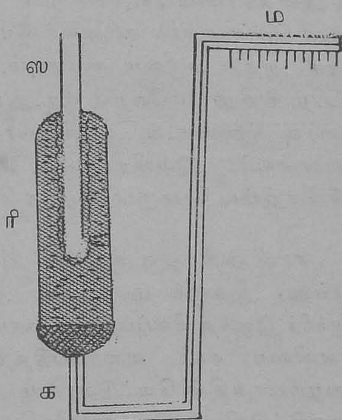
அல்லது $$L = \frac{(m + w)(\theta - t)}{M} + (\theta - 100)$$

## கரவு-வெப்பமானிகள்

'புன்ஸன்' பனி வெப்பமானி :—தண்ணீரின் கரவு-வெப்பத்தினுதவியால் பொருள்களின் வெப்பத்தை அளப்பதற்கு 'புன்ஸன்' என்பவர் ஒரு வெப்பமானி இயற்றினர். (படம் 183).

தண்ணீர் உறையும்போது அதன் பருமை அதிகரிக்கிறது. 1 க. செ. பருமையுள்ள தண்ணீர் 1·09 க. செ. மீ. பருமையுள்ள பனிக்கட்டியாகிறது. இந்த உண்மையை உபயோகித்தே 'புன்ஸன் பனி வெப்பமானி' செய்யப்பட்டுள்ளது.

படத்தைப் பார்க்கவும். ஸ என்னும் ஒரு பரிசோதனைக் குழாய் ரீ என்னும் அகன்ற கண்ணாடிக் குழாயினுள் நுழைத்துப் பற்ற வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ரீ-யின் அடியில் படத்தில் கண்டபடி மூன்று முறை முடக்கப்பட்ட க என்ற ஒரு புழைநாளம் சேர்க்கப்பட்டிருக்கிறது. ரீ-யினடிப்பாகமும், புழைநாளத்தில் அதன் படுக்கைவாக்கான பாகத்தில்




படம் 183

சிறிது தூரமும் பாதரசத்தால் நிரம்பி இருக்கின்றன. ரீ-யின் எஞ்சிய இடமெல்லாம் காய்ச்சியிறக்கிய தூய நீரால் நிரம்பி இருக்கிறது. இந்த நீரைக் கொதிக்க வைத்து அதில் கரைந்துள்ள காற்றெல்லாம் வெளியேற்றப்பட்டிருக்கிறது. புழைநாளத்தில் படுக்கைவாக்கான பாகத்தில் ஓர் அளவி செதுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இதைக் கையாளுமுன் இளகும் பனிக்கட்டியினிடையே இது வைக்கப்படும். பின்னர் ஸ-வினுள்ளே உப்பும்-பனிக்கட்டியும் கலந்த உறையும் கலவை இடப்படும். ஸ வைச் சுற்றிலும் வெளிப்புறத்தில் நீர் உறைந்து பனிக்கட்டி மூடிக்கொள்ளும். வேண்டிய அளவு பனிக்கட்டி ஏற்பட்டவுடன் ஸ விலுள்ள கலவை நீக்கப்படும். இப்போது இது கையாளத்தகுந்த நிலையில் இருக்கிறது. முன்னால் ரசநிரையின் ம என்னும் முனையின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். வெப்பம் அளக்கவேண்டிய பொருளை ஸ வினுள் இடவும். அதன் வெப்பத்தால் ஸ வைச் சூழ்ந்த பனிக்கட்டி உருகி நீராக அதன் பருமை குறையும். அதனால் ரீ-யில் ரச மட்டம் சிறிது மேலேற ம இடதுபுறம் நகரும். ம-வின் அசைவு நின்றவுடன் அதன் வாசகத்தைக் குறித்துக் கொள்ளவும். இவ்விரண்டின் பேதம் நேரே நாம் உள்ளேயிட்ட பொருள் இழந்த வெப்பத்தைத் தரும்.

ஸ வினுள் ஒரு குறித்த அளவுள்ள வெந்நீரைப் பெய்து, அதனால் ம நகரும் தூரம் அளக்கப்படும். வெந்நீர் இழந்த வெப்பத்தை நாமறிவோம். ஆதலால் அளவியை நாம் வகைப்படுத்திவிடலாம். மற்றும் புழைநாளத்தின் வெட்டுவாயை அறிந்தால் இதை நாம் கணக்கிட்டுவிடலாம். அதன் வெட்டுவாய் $(a)$ ச. செ. என்றும், நீரின் கரவு-வெப்பம் (L) என்றும், நாம் இட்ட பொருள் இழந்த வெப்பம் (Q) என்றும், ம என்னும்

முனை $l$ செ. மீ. நகர்ந்தது என்றும் கொண்டால் பருமை வேற்றுமை $(al)$ க. செ. மீ. ஆகும். இப்பருமை வேற்றுமை உண்டாவதற்கு உருகவேண்டிய நீரின் அளவு $\frac{al}{\cdot 09}$ கிராம் ஆகும்.

இதன் கரவு-வெப்பம் $\frac{al.L}{0{\cdot}09}$.

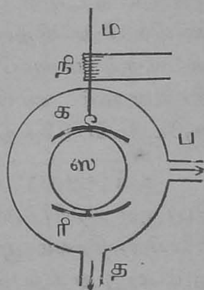
இதுவே நாம் இட்ட பொருள் இழந்த வெப்பமாகிய Q. எனவே

$$Q = \frac{al.L}{0{\cdot}09} \text{ அல்லது } l = \frac{Q \times \cdot 09}{a\,L} \text{ செ. மீ.}$$

இதில் $a=1$ ச.மி.மீ., $l=1$ மி. மீ. ஆனல் $Q = \cdot 89$ கனலி ஆகும்.

இதனுல் இந்த வெப்பமானி சிறிய வெப்ப அளவுகளையும் காணப் பயன்படுகிறது. இதற்கு உஷ்ணநிலைமானி தேவையில்லை. நீர் ஒப்புமை காணவேண்டியதில்லை. மற்றும் விரவிலினுலேற்படும் வெப்பக்குறைவும் இல்லை.

ஜாலியின் நீராவி வெப்பமானி :—இது வாயுக்களின் பருமை-மாரு வெப்ப உரிமைகளைக் காணுவதற்காக ஜாலி என்பவரால் அமைக்கப்பட்டது. இதன் விவரம் வருமாறு :—




படம் 184

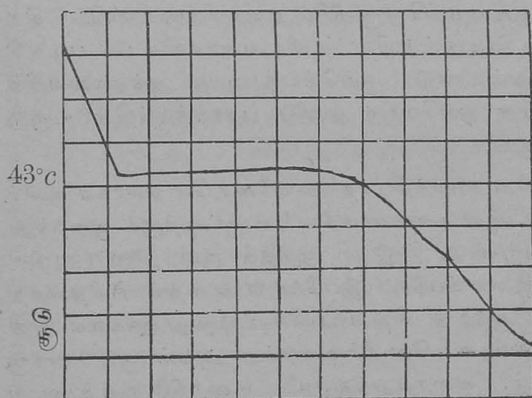
படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 184). ஸ என்பது வாயு நிரம்பிய செப்பு உருண்டை. இது ஒரு மெல்லிய செப்புக் கம்பியால் தராசின் ஒரு தட்டினடியிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. ஸ-வைச் சூழ்ந்து மற்ரெரு

செப்புக் கூடு இருக்கிறது. இதில் ப, த என்ற இரண்டு வாய்கள் உண்டு. ப-வின் வழியாக நீராவி உட்செலுத்தப்படும். த-வின் வழியாக வெளியேறும். நீராவியைச் செலுத்துமுன்பு செப்பு உருண்டையையும், அதிலுள்ள வாயுவும் அறையின் சூட்டை அடைந்திருக்கும். பிறகு நீராவியைச் செலுத்த, அது நீராகி செப்புருண்டையின் மீது படியும். கரவு-வெப்பம் வெளிப்படுவதால் செப்புருண்டையின் சூடுயர்ந்து 100°c ஆகும். படிந்த நீர் உருண்டையின் மீதும், அதனடியில் பொருத்திருக்கும் ரி என்னும் தட்டிலும் தங்கி இருக்கும். தராசினுதவியால் இந்த நீரின் நிறையைக் காணலாம். இந்த நிறையை நீராவியின் கரவு-வெப்பத்தால் பெருக்கவரும் தொகையே, செப்பு உருண்டையும் அதிலுள்ள வாயுவையும், அறையின் சூட்டிலிருந்து 100°c சூட்டிற்கு உயர்த்துவதற்கு வேண்டிய வெப்பத்தைக் குறிக்கும். செப்பு உருண்டை ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பத்தைக் கழித்துவிட்டு வாயுவின் வெப்ப-உரிமை காணலாம். க என்னும் வளைந்த தகடு குடைபோலிருந்து வெளிக் கூட்டின் உட்புறத்தில் படிந்த நீர்த்துளிகள் ஸ-வில் மீது விழாமல் தடுக்கிறது. நீராவி, தொங்கவிட்டிருக்கும் கம்பியின் மீது படியாமல் இருப்பதற்காக நி என்னும் கம்பிச் சுருள் மின்சார முறையில் சூடேற்றப்படுகிறது.

குளிர்-வரை (cooling curve):—ஒரு திரவப் பொருள் குளிர்ந்து உறையும்போது, அதன் சூடு ஒரு நிலையில், திரவம் முழுவதும் உறைந்துபோகும் வரையிலும் மாறாது நிற்பதாகக் கண்டோம். இதனால் திரவங்களின் உறைநிலைச்சூட்டை அறிவது எளிதாகிறது.

பனிக்கட்டியும் உப்பும் முறையே 100 : 33 என்னும் ரீதியில் கலந்தால் கலவையின் சூடு சுமார்-20°c ஆகும். ஒரு சோதனைக்குழாயில் பாதியை சுத்தமான நீரால்

நிரப்பி, அதில் ஒரு உஷ்ணநிலைமானியை இட்டு, சோதனைக்குழாயை கலவையினுள் செருகி வைப்போம். ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தை ஓடச்செய்து, ஒவ்வொரு அரை நிமிஷத்திற்கொருமுறை தண்ணீரின் சூட்டை உஷ்ணநிலைமானியின் வாசகத்தாலறிந்து குறித்து வருவோம். நேரத்தையும் சூட்டையும் இணைத்து ஒரு உருவகம் வரைவோம். இந்த உருவகமே குளிர்-வரை எனப்படும். இதைக் கவனித்தால் முதலில் சூடானது விரைவிலே குறைந்து 0°c-யை அடைவது தெரியவரும். இப்போது நீர் உறைய ஆரம்பிக்கிறது. நீர் முழுவதும் உறைந்துபோகும் வரையில் சூடு 0°c யிலேயே இருக்கிறது. நீர் உறைந்தானவுடன் மறுபடியும் சூடு குறைய ஆரம்பிக்கிறது. இதனால் தூய்மையான நீரின் உறைநிலை அல்லது பனிக்கட்டியின் இளகுநிலை 0°c என்று தெரிந்து கொள்ளலாம்.




படம் 185

இதைப்போன்றே பல பதார்த்தங்களுக்கும் குளிர்வரை கண்டு அவற்றின் உருகுநிலை காணலாம்.

(படம் 185). படத்தில் கண்டிருப்பது 'பினல்' (phenol) என்னும் திரவத்தின் குளிர் வரையாகும். இதிலிருந்து குளிர் வரையானது சரிவாகக் கீழிரங்கிப் பல நிமிஷங்கள் படுக்கை வாக்கிலே சென்று, மறுபடியும் சரிந்துபோவதை அறியலாம். இதனல் 'பினலின்' உருகுநிலை 43°C ஆகும் என்றறிகிரேம்.

இவ்வாறு குளிர் வரைகள் முடங்கித் திரும்பி படுக்கை வாக்கிலே செல்வது கலப்பில்லாத சீரொத்த பதார்த்தங்களின் இயல்பாகும். இவற்றிற்கெல்லாம் வரையறுக்கப்பட்ட உருகுநிலைகள் உண்டு. பல பதார்த்தங்களின் கலவையாகிய மெழுகு, கண்ணுடி, அரக்கு முதலியவற்றிற்கு இதைப்போன்ற வரையறுக்கப்பட்ட உருகு நிலைகள் இல்லாமையால், அவற்றின் குளிர்-வரை முடங்கிப் படுக்கையாய்த் திரும்பாமல் சிறிது சரிந்தே செல்லும். திட திரவ நிலைகளுக்கிடையே இளக்கத்தோடு கூடிய மற்ருெரு நிலை அவற்றிற்கு உண்டு. சில கலவைப் பொருள்களின் குளிர் வரைகளில் பல படிகள் இருப்பதும் உண்டு. ஒவ்வொரு படியும் அக் கலவையில் கலந்துள்ள ஒவ்வொரு தனிப் பதார்த்தத்தின் உருகு நிலையாகும்.

காற்று கரைந்திராத தூயநீரை மெதுவாகக் குளிர்வித்தால் அது உறையாமலே 0°C சூட்டிற்குக் குறைந்து போவதுமுண்டு. இது அதீதக் குளிர்நிலை (super cooling) எனப்படும். இப்போது அதைச் சிறிதசைத்தாலும், அல்லது சிறிய பனிக்கட்டித்துணுக்கை அதிலிட்டாலும், உடனே நீர் உறைந்து அதன் சூடு 0°C-க்கு ஏறிவிடும். வரையறுக்கப்பட்ட உறைநிலையை உடைய எல்லா திரவங்களையும் இவ்வாறு அதீதக் குளிர்நிலையை அடையச் செய்யலாம். இது ஒரு திசையில் மட்டுமே நிகழ்கிறது. ஒரு திடப்பொருளை உருக்காமல் அதன் உருகுநிலைக்கு மேற்பட்ட சூட்டை அடைவிக்கமுடியாது.

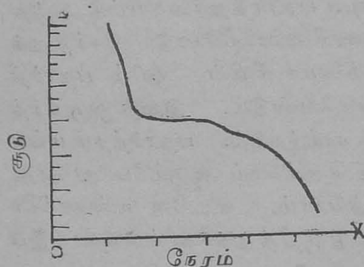
ஒரு கரைநீரின் உறைநிலை எப்போதும் அதைக் கரைக்கும் திரவத்தின் உறைநிலையைவிடக் குறைந்தே இருக்கும். இந்தக் குறைவு, கரைநீரின் உறைப்பிற்கு (concentration) ஏற்ப உள்ளது.

ஒரு பதார்த்தத்தின் உருகுநிலை காண :—

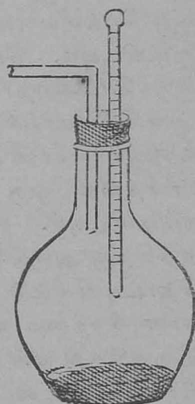
பதார்த்தத்தில் சிறிய அளவே கிடைத்திருந்தால் அதன் உருகுநிலையைக் காணும் முறை வருமாறு:— ஒரு மெல்லிய புழைநாளத்தின் ஒரு முனையை ஊதி மூடிவிடவும். மெல்லிய புழைநாளம் கிடைக்காவிடின், ஒரு மெல்லியதான சாமானிய கண்ணாடிக் குழாயை அனலியில் காய்ச்சி இழுத்துக்கொள்ளலாம். அதனுள் உருகுநிலை காணவேண்டிய பதார்த்தத்தையிட்டு, அந்த நாளத்தை ஒரு உஷ்ணநிலைமானியோடு சேர்த்துக் கட்டிவிடவும். உஷ்ணநிலைமானியின் குமிழ் பதார்த் தத்திற்கு அருகில்இருக்கவேண்டும். இதை ஒரு நீர்த் தொட்டியிலிட்டு நீரைக் காய்ச்சவும். பதார்த்தம் மங்க லான நிறத்தை விட்டுத் தெளிவாய் ஆகும்போது அது உருகுகிறது என்று அறியலாம். உடனே உஷ்ணநிலை மானியில் சூட்டைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இப் போது நீரைக் குளிரவிட்டு மறுபடியும் பதார்த்தம் மங்க ஆரம்பிக்கும்போது, அதன் சூட்டைக் குறித்துக் கொள்ளவும். இந்த இரண்டு சூடுகளுக்கும் அதிக வேற்றுமை இருத்தல் கூடாது. இவற்றின் பொதுமையே அப் பதார்த்தத்தின் உருகுநிலையாகக் கொள்ளலாம்.

குளிர்வரையைக் கொண்டும் சில பொருள்களின் உருகுநிலையைக் காணலாம்: நாப்தலின் (Napthalene) என்னும் பொருளின் உருகுநிலையைக் காணும் முறை வருமாறு:—ஒரு சோதனைக் குழாயினுள் சில நாப்தலின் குண்டுகளையிட்டு அதை நன்றாக காய்ச்சவும். அது

முற்றும் உருகிய பிறகு சிறிது நேரங்கழித்து, அத னுள்ளே ஒரு உஷ்ணநிலைமானியைச்செருகி, அதை ஒரு பிடிப்பிலே நிறுத்தி வைக்கவும். ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தை ஓடச்செய்து, ஒவ்வொரு அரை நிமிஷத்திற்கும் ஒரு முறை சூட்டைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இவ்வாறே நாப்தலின் முழுவதும் இறுகி நன்றாகக் குளிரும் வரையில் செய்யவும். நேரத்திற்கும் சூட்டிற்குமாக ஒரு உருவகம் வரையவும். (படம் 186). உருவகத்திலே படுக்கை வாக்கிலேயுள்ள பகுதியின் சூடே இப் பொருளின் உருகுநிலையாகும்.




படம் 186



படம் 187 (1)

கோதித்தலும், கோதிநிலையும் (Boiling and Boiling Point):—(படம் 187 (1)). ஒரு கண்ணடிக் கலயத்தினுள் நீரைப்பெய்து, இரண்டு துவாரங்கள் கொண்ட ஒரு அடைப்பானல் அதை மூடவும். ஒரு துவாரத்தின் வழியாக ஒரு உஷ்ணநிலைமானியைச் செருகவும். மற்றொரு துவாரத்தின் வழியாக, குட்டையான ஒரு அகன்ற கண்ணடிக்குழாயைச் செருகவும். இதை அனலியின் மேல் வைத்துக் காய்ச்சவும். சிறிது

நேரம் கழித்து வெப்பம் ஏறியவுடன், நீரில் கரைந்துள்ள காற்றெல்லாம் கொப்புளித்து வெளிவருவதைக் காணலாம். பின்னும் வெப்பம் ஏறச் சிறு சிறு கொப்புளங்கள் நீரில் எங்கும் தோன்றி மெதுவாக மேலெழுந்து வரும். கடைசியாக இவ்வாறு வெளிவரும் கொப்புளங்கள் மலிந்து வேகமாக வெளிவரும். இதுவே நீர் கொதித்தல் எனப்படும். இப்போது மானியை நோக்கினால் அதன் வாசகம் நிலையாய் ஓரிடத்தில் நிற்பதைக் காணலாம். இதுவே கொதிநிலை எனப்படும். இந்த நிலையில் நீரெல்லாம் ஆவியாகித் திறந்துள்ள சிறிய கண்ணாடிக்குழாய் வழியாக வெளியேறும். அது வெளியிலுள்ள குளிர்ந்த காற்றின்மீது பட்டவுடன், குளிர்ந்து, நீர்த்துளிகளாக மாறி, வெண்ணிறப் புகைபோலத் தோன்றும். அவ்வாறு தோன்றுவது நீர்த்துளிகளே அன்றி நீராவியல்ல. நீராவி கண்ணுக்குப் புலப்படாதது.

திரவங்கள் கோதிக்கும்போது அதில் கவனிக்க வேண்டிய சில இயல்புகள் வருமாறு:

(1) திரவநிலையிலிருந்து திரவமுழுவதும் வாயு நிலையடையும் வரையில் அதன் சூடு ஒரே நிலையில் நிற்கிறது.

(2) இந்த மாறுபாட்டுக்கு, கரவு-வெப்பம் அவசியமாகிறது.

(3) இந்த மாறுபாட்டிலே பருமை மாறுபாடும் நிகழ்கிறது.

(4) அதீத-சூட்டுநிலை யொன்றும் இதில் சாத்தியமாகிறது.

(5) கரை-நீர்களின் கொதிநிலை, கரைக்கும் திரவங்களின் கொதிநிலையைவிட உயர்ந்திருக்கும். இந்த உயர்வும் கரைநீரின் உறைப்புக்கு ஏற்பவுள்ளது.

இவற்றை நோக்கினல் திட-திரவ மாறுபாடாகிய உருகுதலும், திரவ-வாயு மாறுபாடாகிய ஆவியாதலும், ஒன்றையொன்று பெரிதும் ஒத்திருப்பது எளி-தில் விளங்கும்.

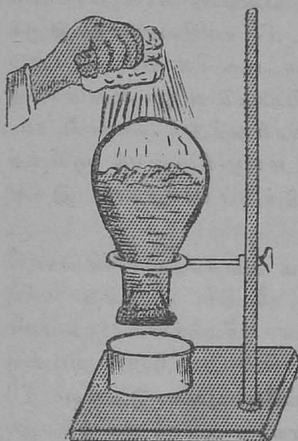
திரவங்களின் கோதிநிலை காண:—ஒரு கரை நீரின் கொதிநிலை, தூய்மையான கரைவியின் கொதிநிலையினின்றும் வேறுபட்டது எனக் கூறினேம். ஆனல் கரை நீரிலிருந்து வெளிப்படும் ஆவியின் கொதிநிலை, தூய கரைவியின் கொதிநிலையே ஆகும். ஆகையால், ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலையைக் காணவேண்டிய போது, அதைக் காய்ச்சி, கொதிக்கச் செய்து, அதிலிருந்து வெளியாகும் ஆவியின் சூட்டை உஷ்ணநிலைமானியால் அளக்கவேண்டும். இவ்வாறு செய்வதால் நாம் எடுத்துக்கொண்ட திரவத்தில் ஏதேனும் ஒரு பொருள் கரைந்திருந்தாலும், அது நமது அளவைப் பாதிக்காது.

ஒரு கரை-நீரின் கொதி நிலையைக் காணவேண்டிய போது அதைக் காய்ச்சி, கொதிக்கச் செய்து, உஷ்ண நிலைமானியின் குமிழைக் கரை நீரினுள் முழுகச் செய்து அதன் சூட்டை அளக்கவேண்டும்.

## இறுக்கமும் கோதி-நிலையும்

திரவத்தின் மேற் பரப்பின் மீதுள்ள இறுக்கத்திற்குகந்தபடி கொதி-நிலை வேறுபடும். இறுக்கம் அதிகமானல் கொதி-நிலை உயரும். இறுக்கம் குறைந்தால் கொதி-நிலை தாழும். இதைப் பரிசோதனையால் விளக்கும் முறை வருமாறு. (படம் 187 (2)). ஒரு பெரிய கண்ணாடிக் கலயத்திலே பாதி தண்ணீர் பெய்து காய்ச்சவும். நீர் கொதித்து அதன் ஆவி கலயத்தில் நிறைந்து, அங்கிருந்த காற்றையெல்லாம் வெளியேற்

றிய பிறகு, ஒரு ரப்பர் அடைப்பானல் கலயத்தின் வாயை இறுக்கி மூடிவிடவும். கலயத்தைக் கவிழ்த்து படத்தில் கண்டபடி, ஒரு தாங்கு காலில் பிடித்து வைக்கவும். சிறிது நேரத்தில் கொதிப்பது நின்று விடும். இப்போது கடற்பஞ்சை நனைத்து அதைக் கலயத்தின் மீது பிழியவும். உடனே கலயத்தினுள் நீர் கொதிப்பதைக் காணலாம். இப்போது அதன் சூடு 100°c க்குக் குறைந்தது தான். ஆயினும் நீர்ப் பரப்பின் மீது நின்ற நீராவி, மேலே பிழிந்த தண்ணீரால் குளிர்ந்து நீராகிவிடுவதால், அந்த இடத்தில் இறுக்கம் குறைந்துவிடுகிறது. இறுக்கம் குறையவே, கொதிநிலையும் தாழ்ந்துவிடுவதால் 100°c க்குத் தாழ்ந்த சூட்டிலும் நீர் கொதிக்க ஆரம்பிக்கிறது. இவ்வாறே பின்னும் குளிரவைத்து, இதற்கும் தாழ்ந்த சூடுகளிலும் நீரைக் கொதிக்கச் செய்யலாம்.



படம் **187** (2)

இவ்வாறாயின் நாம் பொதுவாகத் தண்ணீர் 100°c சூட்டில் கொதிக்கும் என்று கூறுவதன் பொருள் யாதென்று கூறுவோம். பொதுவாக நீர் கொதிக்கும் போது, அதன் பரப்பின் மீதுள்ள இறுக்கம் பவன-இறுக்கமே யாதலால், சாமானிய பவன-இறுக்கத்தில் நீர் 100°c சூட்டில் கொதிக்கும். இந்தப் பவன-இறுக்கமும் கடல் மட்டத்தின் மேல் நாம் அளக்கும் இடத்தின் உயரத்திற்குகந்தபடி மாறுகிறது. மற்றும் பருவ

வேறுபாட்டிற்குத் தக்கபடி மாறுகிறது. அதனால் கட்டளைப் பவன-இறுக்கமாக 76·0 செ. மீ. ரசநிரை இறுக்கமே கொள்ளப்படுகிறது. எனவே, நீர்ப் பரப்பின் மீதுள்ள இறுக்கம் 76·0 செ. மீ. ரசநிரையாக இருக்கும்போது, அந்த நீர் 100°c சூட்டில் கொதிக்கும் என்றறியவேண்டும். இவ்வாறு சரிப்பட்டு வரும் விதமாகவே நாம் 100°c சூட்டை வரையறுத்துக்கொண்டோம். உஷ்ணநிலைமானியில் உயர்ந்த மாறு-நிலையைக் குறித்த போது நாம் கூறியவற்றை எடுத்துப் பார்த்தால் இதன் உண்மை எளிதில் விளங்கும்.

இவ்வாறு பவன-இறுக்கம் குறையவே நீரின் கொதிநிலையும் குறைந்துவிடுவதால், நீலகிரி போன்ற மலை நாடுகளில் பருப்பு வேகிறதில்லை. நீலகிரியில் உதக மண்டலத்தின் உயரம் கடல் மட்டத்தின் மேல் 6,000 அடிக்கு மேற்பட்டது. எனவே அங்கே பவன-இறுக்கம் 76 செ. மீ. க்குக் கீழே வெகுவாகக் குறைந்துவிடுகிறது. நீரின் கொதிநிலையும் அதற்குத் தக்கபடி தாழ்ந்துவிடுகிறது. அதனால் நீரின் சூடு ஒருபோதும் 100°c க்கு ஏறுவதில்லை. பருப்பு வேக வேண்டுமானால் நீரின் சூடு ஏறக்குறைய 100°c இருக்கவேண்டும். எனவே மலை நாடுகளில் பருப்பை வேகவைக்கச் சிரம சாத்தியமாகிறது.

### கொதித்தலும் ஆவியாதலும்

தண்ணீர் 100°c க்குத் தாழ்ந்த சூடுகளிலும் ஆவியாதலை நாம் அன்றாட அநுபவத்தில் காண்கிறோம். பவனத்தின் சூடு 30°c யாக விருப்பினும் ஈரத் துணிகள் உலர்ந்துபோகின்றன. நீர்நிலைகளிலுள்ள தண்ணீரெல்லாம் கோடை நாட்களில் உலர்ந்து வற்றிப்போகிறது. இது எவ்வாறு ஏற்படுகிறதென்று விசாரிப்போம். அணுவியக்கவாதத்தின்படி திரவங்கள், வாயுக்கள் ஆகிய ஓடிகளில் உள்ள மூலகங்கள் (Molecules) எல்

லாம் நானுத்திசைகளிலும் பல வேறு கதிகளோடு ஓடிக்கொண்டிருக்கின்றன. ஒன்றோடொன்று மோதுவதால் அவற்றின் கதிகள் மிகுந்தும் குறைந்தும் போகின்றன. இவ்வாறு அடிபட்ட மூலகங்களில் சில திரவத்தின்மேல் பரப்பை அடைகின்றன. மற்ற மூலகங்களின் கவர்ச்சிகளெல்லாம் சேர்ந்து திரவப் பரப்பிலிருந்து வெளியோட முயலும் மூலகங்களைத் தடுத்து நிறுத்துகின்றன. சாமானிய கதியையுடைய மூலகங்கள் இவ்வாறு தடுக்கப்பட்டு நின்றுவிடுகின்றன. ஆனுல் மிக உயர்ந்த கதியையுடைய சில, இந்தக் கவர்ச்சிகளையெல்லாம் மீறி வெளிச்சென்று விடுகின்றன. இவ்வாறு அதீத கதிகளையுடைய மூலகங்கள் திரவத்தினின்று வெளிச்சென்று வாயு நிலையை அடைவதையே ஆவியாதல் என்கிறோம். எனவே, ஆவியாவதற்கு ஒரு குறித்த சூடு அவசியமென்பதில்லை. ஆனுல் ஒரு ஓடியின் சூடு அதிகரிக்கவே அதன் மூலகங்களினது கதிகளும் அதிகரிக்கின்றன. அந்தப் பொருளின் வெப்பம், இவ்வாறு இயங்கும் பல மூலகங்களின் மொத்த இயக்க ஆற்றலேயாம் என்பதை பின்னுல் காண்போம். அதனுல் உயர்ந்த சூடுகளில் உயர்ந்த கதிகளைக்கொண்ட மூலகங்கள் அதிகரிப்பதால் ஆவியாதலும் விரைவாக நடக்கிறது. கொதிநிலையில் ஏறக்குறைய எல்லா மூலகங்களுமே ஆவியாதற்கு வேண்டிய நீச கதி எல்லையைக் கடந்துவிடுவதால் திரவம் முழுவதுமே கொதித்து ஆவியாகிறது. இதனுல் சாமானிய ஆவியாதலுக்கும் கொதித்தலுக்குமுள்ள வேற்றுமையைப் பின்வருமாறு கூறலாம்.

சாமானியமாய் ஆவியாகும்போது இந்நிகழ்ச்சி திரவத்தின் பரப்பின் மீது மட்டுமே நடக்கிறது. கொதிக்கும்போது திரவ முழுமையிலுமே ஆவியாதல் நிகழ்கிறது.

### ஆவியாகும்போது ஏற்படும் குளிர்ச்சி

ஆவியாகும்போதெல்லாம் திரவத்திலிருந்து கரவு-வெப்பம் ஆவியினால் கொள்ளப்படுகிறது. இவ்வாறு தொடர்ந்து வெப்பம் திரவத்திலிருந்து நீக்கப்படுவதால் அதன் சூடு குறைந்து குளிர்ச்சி யடைகிறது. கோடை நாளில் உடல் முழுவதும் வியர்த்திருக்கும்போது விசிறிக்கொள்வதால் குளிர்ச்சி ஏற்படுவதும் இவ்வாறு தான் நிகழ்கிறது. விசிறிக்கொள்ளும்போது காற்று விசையாக வியர்வை நீரின்மீது படுவதால் வியர்வையெல்லாம் எளிதிலே ஆவியாகிறது. அவ்வாறு வெளியேறும் ஆவி, நமது உடலிலிருந்து தனக்கு வேண்டிய கரவு வெப்பத்தைக் கைக்கொள்வதால், நமது உடலில் குளிர்ந்த உணர்ச்சி ஏற்படுகிறது.

ஆவியாதலினால் குளிர்ச்சி ஏற்படுவதை, பரிசோதனையால் காட்டும் முறை வருமாறு:—ஒரு சதுரமான சிறிய மரக்கட்டைத் துண்டின் மீது, இரண்டு சொட்டு நீரைவிட்டு, அதன்மேல் ஒரு சிறிய கண்ணாடிக் குவளையை வைக்கவும். அதில் சிறிது ஈதர் என்னும் திரவத்தை விட்டு ஒரு துருத்தியினால் குவளையினுள் காற்றை ஊதவும். ஈதர் மிக எளிதாக ஆவியாகக் கூடிய திரவம். காற்றை அதனுள் ஊதவே அது பின்னும் விரைவாக ஆவியாகிவிடும். குவளையைத் தொட்டுப் பார்த்தால் அது குளிர்ந்திருப்பது தெரியும். மற்றும் குவளையைப் பிடித்துத் தூக்கினால், கட்டைத் துண்டும் அதனோடு ஒட்டிக்கொண்டு மேலெழுந்து வரும். மரக்கட்டைக்கும் கண்ணாடிக் குவளைக்கும் இடையே நாம் இட்ட நீரானது குளிரால் உறைந்து பனிக்கட்டியாகிப் பிடித்துக்கொள்வதால் இவ்வாறாகிறது.

### நிலைமை மாறுதலால் ஏற்படும் பருமை மாறுபாடு

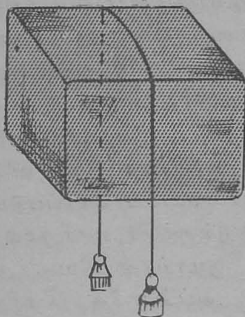
தண்ணீர் உறைந்து பனிக்கட்டியாகும்போது 1 க. செ. மீ. தண்ணீரின் பருமை 1·09 க. செ. மீ. ஆகிறது.

இதனால் பனிக்கட்டியின் செறிவு குறைவாய் இருப்பதால் அது நீரில் மிதக்கிறது. ஆனால் அரக்குபோன்ற சில பொருள்கள் உறைந்து கட்டியாகும்போது சுருங்கி விடுகின்றன. இவ்வாறு நீர் உறையும்போது அதன் பருமை அதிகரிப்பதால் மிகப்பெரிய சக்தி ஏற்படுகிறது. கற்பிளவுகளில் தங்கி நிற்கும் மழை நீர், குளிர் காலத்தில் உறைந்து அதன் பருமை மிகுவதால், கற்பாறைகள் பிளந்து நொறுங்கிவிடுகின்றன. குளிர் நாடுகளில் வீடுகளுக்குத் தண்ணீர்கொண்டுவர உபயோகிக்கப்படும் இருப்புக் குழாய்களினுள்ளே இருக்கும் நீர், மாரி காலத்தில் உறைந்து போவதால், அக் குழாய்கள் வெடித்து விடுவதுண்டு. ஆனால் இது அப்போதே தெரிவதில்லை. வேனிற்காலம் வந்து பனியெல்லாம் உருகும்போதே இவ்வாறு குழாய்கள் வெடித்திருப்பது தெரிய வரும்.

நீர் உறையும்போது பருமை யதிகரிப்பதனால், பருமையைச் சுருக்குவதாகிய இறுக்கத்தைக்கொண்டு, நீரின் உறைநிலையைக் குறைக்கலாமென்று உணரலாம். ஆனால் இறுக்கத்தால் ஏற்படும் உருகுநிலைத் தாழ்வு மிகக் குறைவாகும். ஒரு பவன-இறுக்கம் அதிகரிப்பதானல் $0{\cdot}0075^\circ c$ அளவுக்கே உருகுநிலை தாழ்கிறது. ஆனால் இதனால் ஏற்படும் விளைவை நாம் அநுபவத்தில் காணலாம்.

இரண்டு பனிக்கட்டித் துண்டுகளை நாம் சேர்த்துப் பிடித்து அழுத்தினால் பொருந்துவாயிலில் உருகுநிலை தாழ்ந்துவிடுவதால் சிறிதளவு பனி உருகி நீராகும். பிறகு நாம் அழுத்துவதை விட்டுவிட்டால் உருகுநிலை உயர்ந்துவிடுவதால் பொருந்துவாயிலில் நீர் உறைந்து, இரண்டு பனிக்கட்டிகளும் ஒன்றாக ஒட்டிக்கொண்டு விடும்.

$0^\circ C$ சூடுகொண்ட ஒரு அறையிலே, ஒரு பனிக்கட்டியை இரண்டு முக்காலிகளுக்கிடையே வைத்துப் படத்தில் கண்டபடி (படம் 188) அதன் மீது இரு புறமும் எடைகள் கட்டித் தொங்கும் செப்புக் கம்பியைப் போட்டு வைத்தால், சில மணி நேரங்களுக்குள்ளாக இக்கம்பி யாதொரு சுவடும் இன்றி, பனிக்கட்டியின் கீழிறங்கி விழுந்துவிடுவதைக் காணலாம். கம்பியின் அழுத்தத்தால் அதன் அடியில் இருக்கும் பனிக்கட்டி உருகி, அத் தண்ணீர் கம்பியின் மேலேறி வந்து, அங்கு அழுத்தமின்மையால் மறுபடியும் உறைந்துவிடும். இது தொடர்ந்து நிகழ்வதால் சுவடு தோன்றாமல் கம்பி கீழிறங்குவது சாத்தியமாகிறது.



படம் 188

தண்ணீர் கொதித்து ஆவியாகும்போதும் இவ்வாறு பருமை-வேற்றுமை ஏற்படுகிறது. ஒரு க.செ.மீ. தண்ணீர் கட்டளை இறுக்கத்தில் சுமார் 1,700 க. செ. மீ. ஆவியாகிறது. இவ்வாறு பருமை யதிகரிப்பதால் விளையும் சக்தியே பெரிய நீராவி யந்திரங்களை ஓட்டப் பயன்படுகிறது.

திடப்பொருள் ஆவியாக நேரே மாறல் (Sublimation).—திடப்பொருள் சூடேறுவதால் திரவப் பொருளாகிப் பின்னும் சூடேற வாயுப்பொருளாவதைக் கண்டோம். இம்முறையிலன்றி திடப்பொருள் சூடேறுவதால் நேரே வாயுப்பொருளாவதும் உண்டு. கற்பூரத்தைக் காய்ச்சினால் அது திரவமாக மாறாமல் நேரே ஆவியாகிவிடுகிறது. ஊதிதப் (Iodine) படி

கங்களும் இவ்வாறே காய்ச்சப்பட்டால் நீலநிறமுள்ள புகையாக மாறிவிடும். பனியும் பனிக்கட்டியும் இவ்வாறே மெதுவாக ஆவியாகிவிடுகின்றன. துருவப் பிரதேசங்களில் ஆவியாவதற்கு வழி இது ஒன்றேதான்.

உதாரணம் 1. $0^\circ c$ சூட்டிலேயுள்ள 10 கிராம் பனிக்கட்டி, வெப்பமானியிலே $35^\circ c$ சூட்டிலேயுள்ள 50 கிராம் தண்ணீரோடு கலக்கப்பட்டது. பயனிலைச் சூடு யாதாக விருக்குமென்று கணக்கிடுக. கணக்கீட்டின் ஒவ்வொரு படியையும் விளக்கிக்கூறுக.

வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமை கொடுக்கப்படாததால் அது 0 என்று கொள்வோம்.

பயனிலைச்சூடு $T^\circ c$ என்று கொள்வோம்.

பனிக்கட்டி ஏற்ற வெப்பம்

(1) உருகும்போது $10 \times$ நீரின் கரவு-வெப்பம்

$= 10 \times 80 = 800$ கனலிகள்.

(2) சூடேறும்போது $= 10\,T$ கனலிகள்.

பனிக்கட்டி ஏற்றுக்கொண்ட மொத்த வெப்பம்

$= (800 + 10\,T)$ கனலிகள்.

தண்ணீர் இழந்த வெப்பம் $(35 - T)\,50$ கனலிகள்.

இவையிரண்டும் சமமாகையால்

$(800 + 10\,T) = (35 - T)\,50.$

அல்லது $T = 15{\cdot}83^\circ c$.

எனவே பயனிலைச்சூடு $15{\cdot}83^\circ c$ ஆகும்.

உதாரணம் 2. தனது நீர்-ஒப்புமை 48 ஆகக் கொண்டதொரு வெப்பமானியிலே 352 கிராம் தண்

ணீர் இருக்கிறது. இவற்றின் கூட்டு-நிறை 882 கிராம். இதனுள்ளே பவன இறுக்கத்திலுள்ள நீராவி செலுத்தப்படுகிறது. இதனால் தண்ணீரின் சூடு 26·2°c யிலிருந்து 32·7°c வரை உயர்ந்தது. மறுபடியும் நிறுத்தபோது அதன் நிறை 886·2 கிராம் இருந்தது. நீராவியின் கரவு-வெப்பத்தைக் கணக்கிடுக.

நீராவியின் கரவு-வெப்பம் (L) என்று கொள்வோம். தண்ணீரோடு கூடிய வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமை =(352 + 48) = 400 கிராம்.

ஏற்றுக்கொண்ட நீராவியின் நிறை
886·2—882 = 4·2 கிராம்.

தண்ணீரின் சூட்டுயர்வு 32·7 —26·2 = 6·5°c.

வெப்பமானி ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பம்
= 400 × 6·5 கனலி.

நீராவி இழந்த வெப்பம்

(1) நீராகப்படியும்போது 4·2 × L கனலி.

(2) குளிர்ந்தபோது 4·2 × 67·3 கனலி.

நீராவி இழந்த மொத்த வெப்பம் (4·2 L + 4·2 × 67·3) கனலி.

நீராவி இழந்த வெப்பமும் வெப்பமானி ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பமும் சமமாகவேண்டும்.

ஆகையால் 400 × 6·5 = 4·2 L + 4·2 × 67·3.

அல்லது L = 552 கனலி.

உதாரணம் 3. பனிக்கட்டியின் வெப்ப உரிமை ·5, தண்ணீரின் கரவு-வெப்பம் 80 கனலி, நீராவியின் கரவு-வெப்பம் 536 கனலி. இவற்றைக்கொண்டு, 16°c சூட்

டிலேயுள்ள ·5 கிராம் பனிக்கட்டியை நீராவியாக்க வேண்டுமானால் எவ்வளவு வெப்பம் வேண்டியிருக்கும் என்று கணக்கிடுக.

·5 கிராம்கொண்ட பனிக்கட்டி $-16^{\circ}c$ சூட்டிலிருந்து $0^{\circ}c$ சூட்டை யடைவதற்காகவேண்டிய வெப்பம்

$$= \cdot 5 \times 5 \times 16 = 4 \text{ கனலி.}$$

இந்தப் பனிக்கட்டியை $0^{\circ}c$ சூட்டிலே நீராக்கவேண்டிய வெப்பம் $\cdot 5 \times 80 = 40$ கனலி.

·5 கிராம் தண்ணீரை $0^{\circ}c$ யிலிருந்து $100^{\circ}c$ சூட்டிற்கு உயர்த்துவதற்கு வேண்டிய வெப்பம் $\cdot 5 \times 100 = 50$ கனலி.

$100^{\circ}c$ சூட்டிலேயுள்ள ·5 கிராம் தண்ணீரை ஆவியாக்கவேண்டிய வெப்பம் $\cdot 5 \times 536 = 268$ கனலி.

எனவே $-16^{\circ}c$ சூட்டிலேயிருந்த ·5 கிராம் கொண்ட பனிக்கட்டியை ஆவியாக்குதற்கு வேண்டிய வெப்பம் $= 4 + 40 + 50 + 268 = 362$ கிராம்.

---

## வினுக்கள்

1. $-10°c$ சூட்டிலேயுள்ள 400 கிராம் பனிக் கட்டியை உருக்கவேண்டுமானுல் $100°c$ சூட்டிலேயுள்ள எவ்வளவு நீராவி தேவையாக இருக்கும்? நீராவியின் கரவு-வெப்பம் 536. பனிக்கட்டியின் கரவு-வெப்பம் 80. பனிக்கட்டியின் வெப்ப-உரிமை ·5.

(ரங்கூன் 1931).

2. ஒரு வெப்பமானியின் நிறை 77·9 கிராம். அதன் வெப்ப-உரிமை ·114. இதிலே $26°c$ சூடுகொண்ட 167·3 கிராம் தண்ணீர் இருக்கிறது. $0°c$ சூடுகொண்ட 11·5 கிராம் பனிக்கட்டி இதில் போடப்பட்டது. தண்ணீரின் சூடு இதனுல் $19·5°c$ யாகக் குறைந்துவிட்டது. பனிக்கட்டியின் உருகுநிலைக் கரவுவெப்பத்தைக் காண்க.

3. மெழுகுபோன்றதொரு பொருளிலே சிறிதளவு கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதன் இளகுநிலையைக் காண்பதற்கான பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

ஒரு செப்பு வெப்பமானியின் நிறை 60 கிராம். இதிலே 100 க. செ. மீ. தண்ணீர் இருக்கிறது. அதன் சூடு $25°c$. இதனுள்ளே 50 கிராம் நிறையுள்ள பனிக் கட்டியைப் போட்டுக் கலக்கப்பட்டது. எவ்வளவு பனிக் கட்டி கரையாது எஞ்சிநிற்குமென்று காண்க. செம் பின் வெப்ப-உரிமை ·1. பனிக்கட்டியின் கரவு-வெப் பம் = 80.

(அண்ணுமலை 1934).

4. நீராவியின் கரவு-வெப்பத்தைத் திருத்தமாகக் காண்பதற்கானதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

(சென்னை : செப். 1925).

5. ஒரு ஆவியின் கரவு-வெப்பம் என்ருல் என்ன? நீராவியின் கரவு-வெப்பத்தை எவ்வாறு அளக்கலாம்? இதில் ஏற்படக்கூடிய பிழைகள் யாவை என்று விளக்கிக் கூறுக.

$10°c$ சூட்டிலேயுள்ள 730 கிராம் காற்றிேைடு $100°c$ சூடு கொண்ட நீராவி கலக்கப்பட்டது. இதன் பயனிலைச்சூடு $50°c$ ஆயிற்று. நீராவியின் கரவு-வெப்பம் யாது? காற்றின் வெப்ப-உரிமை 0·2.

(ஆக்ஸ். 1929).

6. ஒரு வெப்பமானியின் நிறை 120·47 கிராம். இது செய்யப்பட்டுள்ள உலோகத்தின் வெப்ப-உரிமை ·114. இதிலே $13°c$ சூடுகொண்ட 220·56 கிராம் தண்ணீர் இருக்கிறது. இதனுள்ளே நீராவியைச் செலுத்த அதன் சூடு $69°c$ ஆகிறது. முடிவில் வெப்பமானியைத் தண்ணீருடன் நிறுக்க அது 364·03 கிராம் இருக்கிறது. நீராவியின் கரவு-வெப்பத்தைக் காண்க.

7. ஒரு வெப்பமானியிலே $21°c$ சூடுகொண்ட 150 கிராம் மெழுகு எண்ணெய் இருக்கிறது. இதனுள்ளே $100°c$ சூடுகொண்ட நீராவி செலுத்தப்பட்டது. இந்த எண்ணெயின் சூடு $60°c$ ஆனபோது, அதிலே படிந்திருக்கக்கூடிய ஆவியின் நிறை யாதாகும்? வெப்பமானியின் நீர் ஒப்புமை 20. மெழுகு எண்ணெயின் வெப்ப-உரிமை ·5.

(ஆந்திரா: செப். 1932).

8. இறுகுநிலை நியமங்களை எடுத்துக் கூறுக. 112·53 கிராம் நிறை கொண்டதொரு செப்பு வெப்பமானியிலே சிறிது தண்ணீரைவிட அதன் நிறை 187·3 கிராம் ஆயிற்று. இதிலே ஒரு பனிக்கட்டித் துண்டைப் போட அதன் சூடு $24·8°c$ ஆயிற்று. இதன் பிறகு

வெப்பமானியின் நிறை 191·48 கிராம் இருந்ததானால் தண்ணீரின் கரவு-வெப்பத்தைக் கணக்கிடுக.

(செம்பின் வெப்ப-உரிமை = $\frac{1}{11}$. தண்ணீரின் தலைச் சூடு = $30^\circ c$ )

(சென்னை : செப். 1928).

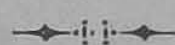
9. தண்ணீரின் உச்சநிலைச்செறிவுச் சூட்டை எவ்வாறு காணலாமென்று விவரித்துக் கூறுக.

$-10^\circ c$ சூடுகொண்ட ஒரு கிராம் பனிக்கட்டியை அது உருகிவந்த தண்ணீர் $60^\circ c$ சூட்டை அடையும் வரைக் காய்ச்சப்பட்டது.

பரிமாணத்திற்கு ஏறக்குறைய ஒவ்வும்படியாக சூடு-பருமை உருவகமொன்றும், சூடு-உட்கொண்ட வெப்ப உருவகமொன்றுமாக இரண்டு உருவகங்களை வரைந்து காட்டி விளக்குக.

(சென்னை : செப். 1924).

# அத்தியாயம் 7



## ஆவி இறுக்கம் — ஈர அளவியல்
## (Vapour Pressure and Hygrometry)

முன்னுரை :—சூட்டினால் நீர் ஆவியாதலை நமது அன்றாட வாழ்க்கையில் நாம் பன்முறை பார்த்திருக்கிறோம். ஆறு, குளம், ஏரி, கடல் போன்ற நீர் நிலைகளிலுள்ள நீர், சூரிய வெப்பத்தால் ஆவியாகிப் பவனத்தில் மறைந்துபோவதையும், பிறகு அது பவனத்தின் மேல் பாகங்களில் உள்ள குளிர்ந்த பிரதேசங்களை அடைந்து, மேகங்களாக மாறி, காற்றுவாக்கில் சஞ்சரிப்பதையும், பின்னும் குளிர்ச்சியடைந்து கனத்த நீர்த் துளிகளாக மாறி, மழையாகப் பெய்வதையும் நாமறிவோம். இவ்வாறு நெடுந்தூரம் உயர ஏறி இறங்கி வரும் நீரையன்றி, நீராவியான நீரில் ஒரு பாகம் பவனத்தின் அடிப்பாகங்களிலேயே கலந்திருந்து, இரவிலே உண்டாகும் குளிரால் பனியாக மாறி, நிலத்திலும், புல் பூண்டுகள் மீதும் பெய்வதுமுண்டு. இவ்வாறு பவனத்தில் கலந்திருந்து பனியாக மாறும் நீராவியின் இயல்புகளைச் சிறிது விசாரிப்போம். பவனம் எல்லையற்ற திறந்த வெளியாதலால் நாம் அதிலே கலந்துள்ள நீராவியைக் கட்டுப்படுத்திப் பரிசோதனைகளைச் செய்தல் சிரமமான காரியம். ஆகையால் வேண்டிய நீராவியை நாமே உண்டாக்கி, அதை வேண்டிய இடத்திலே கட்டுப்படுத்தி வைத்து, நமது பரிசோதனைகளைச் செய்வோம். இப்பரிசோதனைகளால் நாம் காணும் முடிவுகளைக்கொண்டு பவனத்தில் நடைபெறுகின்ற இயற்கை நிகழ்ச்சிகளாகிய பனி, மூடு பனி, வெண்பனி, கல்மழை முதலியவற்றின் இயல்புகளை விளக்க முயலுவோம்.

பதார்த்தங்களின் மூலக அமைப்பும் அவை ஆவியாதலும் :—பதார்த்தங்களெல்லாம் சின்னஞ் சிறு மூலகங்களாலானவை என்றும், இம் மூலகங்களைவிடச் சிறிய பொருள்கள் இருக்கமுடியாதென்றும், அணு இயக்க வாதம் (Kinetic theory) கூறுகிறது. மேலும் இம் மூலகங்களெல்லாம் நிரந்தரமான இயக்கத்தையுடையன என்றும், இவை ஒவ்வொன்றுக்கும் இடையே இடை வெளி நிறைந்திருக்கிறது என்றும் அந்த வாதம் கூறுகிறது. திட, திரவ, வாயு நிலைகளின் வேற்றுமைக்கு இந்த மூலகங்களின் நெருக்க வேற்றுமையே காரணமாகும். வாயுநிலையிலே மூலகங்கள் நெடுந் தூரம் விலகியிருக்கின்றன. மற்றும் அவை எப்போதும் பலவேறு கதிகளுடனே ஓடிக்கொண்டேயிருக்கின்றன. திரவ நிலையிலே மூலகங்கள் சற்று நெருங்கி இருக்கின்றன. அவையெல்லாம் பலவேறு கதிகளுடன் ஓடிக்கொண்டிருப்பதுண்டாயினும், நெருக்கம் அதிகமாயிருப்பதால் மூலகங்களினிடையிலே பல வேறு கவர்ச்சிச் சக்திகள் தொழிற்படுகின்றன. வாயுவிலே இத்தகைய கவர்ச்சி சக்திகள் மிகக் குறைவு. திடப் பொருள்களில் இருக்கும் மூலகங்கள் பின்னும் நெருங்கியிருக்கின்றன. அவை தங்கள் இடம்விட்டுப் பெயர்வதில்லை. ஆயினும் அவை தம்மிடத்திலேயே துடித்துக்கொண்டு மட்டுமிருக்கும். இத்துடிப்பினுலேயே பொருள்களின் சூடு ஏற்படுகின்றது.

ஒரு சிறு தட்டிலே நீரைப்பெய்து வைத்தால் அது சிறிது நேரத்தில் மறைந்துவிடுகிறது. தட்டும் உலர்ந்துவிடுகிறது. நீருக்குப் பதிலாக ஈதரையோ அல்லது சாராயத்தையோ கொட்டிவைத்தால், அவை பின்னும் விரைவிலே மறைந்துவிடுகின்றன. இதற்குக் காரணம் திரவ மூலகங்கள் வேகமாக இயங்கிக்கொண்டிருப்பதுதான். இந்த இயக்கத்தின் போது ஒரு

மூலகம் மற்ற மூலகங்களோடு மோதுகிறது. இவ்வாறு மூலகங்கள் ஒன்றோடொன்று மோதுவதால் சில மூலகங்களின் கதி மிதமிஞ்சிப் போய்விடும். இம் மூலகங்கள் திரவத்தின் மேல் மட்டத்திற்கு அருகிலிருக்க நேர்ந்தால், அவை திரவத்தை விட்டு வெளியேறிப் பிறகு வாயு மூலகத்தின் தன்மையை அடையக்கூடும். இதுவே மூலக இயக்கவாதத்தின்படி ஆவியாதலுக்குக் காரணம். சூடு அதிகமாகும்போது ஆவியாகும் வேகமும் அதிகமாகிறது. சூடு அதிகமாவதால் மூலக இயக்கத்தின் வேகமும் அதிகமாகிறது. எனவே ஆவியாதலும் விரைவிலே நிகழ்கிறது.

ஆவி இறுக்கம்:—இதற்குமுன் திரவ மூலகங்கள், திறந்த வெளியாகிய பவனத்திலே நுழைந்து, ஆவியாதலைப்பற்றிக் கூறினோம். இனி, திறந்த வெளியல்லாது ஒரு வரம்புக்குட்பட்ட இடத்திலே, இந்த ஆவியாதல் எவ்வாறு நிகழ்கிறது என்று சற்றே விசாரிப்போம். ஒரு மூடிய கலத்தினுள் திரவம் வைக்கப்பட்டிருந்தால் திரவமட்டத்திற்கு மேலேயுள்ள இடம் வரையறுக்கப்பட்டது. இதனுள் புகுந்த மூலகங்கள் நெடுந்தூரம் ஓடிவிட முடியாது. இக் கலத்தினுள்ளேயே அடைபட்டிருக்க வேண்டும். எனவே ஆவியாகிய சில மூலகங்கள் மறுபடியும் திரவத்தினுள் நுழைதலும் கூடும். திரவமட்டத்திற்கு மேலேயுள்ள காலியிடத்தில் ஆவியாகிய மூலகங்கள் அதிகமாகவே, இவ்வாறு திரவத்தினுள் மீண்டும் நுழையும் மூலகங்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாகும். ஒரு நிலையிலே திரவத்திலிருந்து வெளிப்பட்டு ஆவியாகும் மூலகங்களின் எண்ணிக்கையும், திரவத்தினுள் மீண்டு நுழையும் மூலகங்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாகலாம். முதலில், திரவத்திலிருந்து வெளிப்பட்டு வரும் மூலகங்கள் மீண்டும் திரவத்தினுள்ளே நுழையும் மூலகங்களைவிட அதிக

மாக இருக்கும். பிறகு ஆவி மூலகங்கள் அதிகமாக திரவத்திலே மீண்டு நுழையும் மூலகங்கள் வரவர அதிகமாகிக்கொண்டே வந்து, ஒரு நிலையில் அவை திரவத்திலிருந்து வெளிப்படும் மூலகங்களுக்குச் சமமாகும். இந்த நிலை எளிதிலே மாறுதலடையாது. எனவே இது சமநிலைமை எனப்படும். இதற்குமேல் அதிகமான ஆவியை இதே சூட்டில் திரவத்திற்கு மேலேயுள்ள காலியிடம் ஏற்றுக்கொள்ளாது. இதுவே அந்த இடம் ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய ஆவியின் உச்ச அளவு ஆகும். இப்போது அந்த இடத்திலே திரவத்தின் ஆவி தேவிட்டியிருப்பதாக (Saturated)க் கூறப்படும். இந்த ஆவியினால் திரவமட்டத்தின்மீதுள்ள ஒவ்வொரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பின்மீது தாக்கும் இறுக்கமும், திரவத்தினது இந்த சூட்டிற்குரிய தெவிட்டிய 'ஆவி இறுக்கம்' (Saturated Vapour Pressure) எனப்படும்.

தேவிட்டிய ஆவி இறுக்கம் சூட்டோடு அதிகரிக்கும் :—திரவத்தைக் கொண்டுள்ள கலத்தைச் சூடேற்றினால், திரவத்திலுள்ள மூலகங்களின் இயக்க-வேகமும் அதிகரிக்கும். இதனால் திரவத்திலிருந்து வெளியேறும் மூலகங்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகரிக்கும். எனவே சமநிலையை நிறுவவேண்டுமானால் திரவத்திற்கு மீண்டு வரும் மூலகங்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகரிக்கவேண்டும். இதற்கு திரவத்திற்கு மேலேயுள்ள இடத்தில் தங்கும் ஆவி மூலகங்கள் அதிகரிக்கவேண்டும். இதனால் இந்த ஆவியின் இறுக்கம் அதிகமாகும். ஆகையால் ஒரு திரவத்தின் சூடு அதிகரித்தால், அதன் ஆவி-இறுக்கமும் அதிகரிக்கவேண்டுமென்று தெரிகிறது.

தேவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் அது அடைபட்டிருக்கும் இடத்தின் பருமையைச் சார்ந்ததல்ல :—திரவத்திற்கு மேலேயுள்ள காலியிடம் சற்றே சுருங்கி

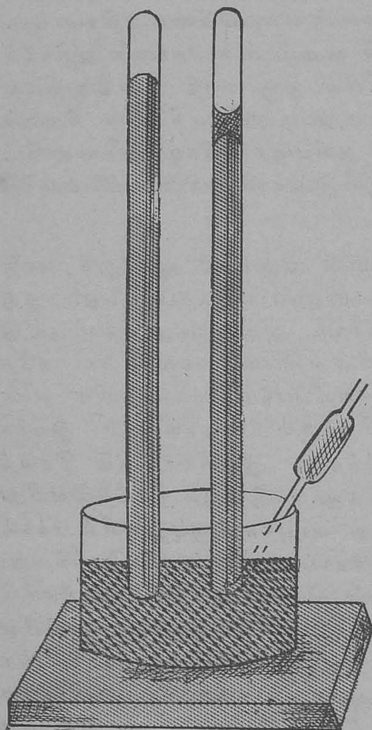
விடுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது திரவமட்டத்தினுள்ள ஒவ்வொரு ச. செ. மீட்டர் பரப்பின் மீதும் தாக்கும் ஆவி மூலகங்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகும். இதனால் திரவத்தினுள் நுழையும் மூலகங்கள் அதிகரிக்கும். அதாவது ஆவியின் ஒரு பகுதி மீண்டும் திரவமாகப் படிந்துவிடும். மறுபடியும் சமநிலைமை நிறுவப்படும் வரை இவ்வாறு ஆவிபடிதல் நிகழ்ந்துகொண்டேயிருக்கும். இதனால் ஆவி இறுக்கம் முன்னைய நிலைமையே அடையும்.

தேவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் அதனோடு கலந்திருக்கும் மற்ற வாயுக்களினால் பாதிக்கப்படாது:—ஒரு திரவத்தின் ஆவி இறுக்கம், அதிலிருந்து வெளிப்பட்டு ஆவியாகும் மூலகங்களின் எண்ணிக்கையைச் சார்ந்ததேயாகும். இவ்வாறு வெளிப்படும் மூலகங்களின் எண்ணிக்கை, திரவத்திலிருக்கும் மூலகங்களின் இயக்க கதியை மட்டுமே சார்ந்தது. இவ்வியக்க கதி திரவத்தின் சூட்டையே சார்ந்தது. இதனால் திரவத்தின்மீது நிறைந்திருக்கும் வேறு வாயுக்களினால் ஆவியிறுக்கம் எவ்விதத்திலும் பாதிக்கப்படாதென்று தெரிகிறது. ஆனால் மற்ற வாயுக்கள் திரவமட்டத்தின்மீது நிரம்பி இருந்தால் அவற்றின் மூலகங்கள் அடிக்கடி ஆவியின் மூலகங்களோடு மோதிக்கொள்ளக்கூடுமாதலால், திரவத்திற்கும் அதன் ஆவிக்கும் இடையே சமநிலைமை நிறுவப்படுவதற்குச் சிறிது அதிக நேரமாகும். இவற்றையெல்லாம் பரிசோதனைகளால் காட்டலாம்.

ஆவி இறுக்கத்தைப் பற்றிய சில பரிசோதனைகள்:

(1) அறையினது சூட்டிலே ஆவியின் தேவிட்டிய இறுக்கத்தைக் காண:—இரண்டு பாரமானிக்குழாய்களை எடுத்து, அவற்றின் உட்புறங்களைக் கழுவி, நன்றாகச் சுத்தம் செய்து உலரவைக்கவும். தூய ஈரமில்

லாத பாதரசத்தைக்கொண்டு இரண்டு பாரமானிகளை அமைத்து வைக்கவும். (படம் 189). நுனி சிறிது மேற்புறமாக வளைந்துள்ளதொரு சிறிய குறுங் குழாயினாலே (Pipette) தண்ணீர் அல்லது வேறொரு திரவத்தை எடுத்துக்கொண்டு அதன் நுனியைத் தொட்டியிலுள்ள ரசத்தினுள் முழுக்கி, ஒரு பாரமானிக் குழாயினுள் நுழைத்து, திரவத்தை வெளிவிடவும். இத் திரவம் துளித்துளியாகக் குழாயினுள்ளே ஏறி, ரசநிரையின் மீது நிற்கும். இவ்வாறு தங்கிய திரவம் ஆவியாகிப் பாழிடத்தை நிரப்பும். மேலும் திரவத்தைச் செலுத்தவும். ஆவி நிரம்பிய பின்னரும்,



படம் 189

திரவத்தின் ஒருமெல்லிய படலம் ரசநிரையின்மீது தங்கியிருக்கும்வரை, திரவத்தைச் செலுத்திக்கொண்டே இருக்கவும். இப்போது ரசநிரை முன்பிருந்ததைவிடக் கீழே இறங்கி நிற்பதைக் காணலாம். திரவம் செலுத்தப்படாத குழாயிலுள்ள ரசமட்டத்திற்கும், திரவம் செலுத்தப்பட்டதால் கீழிறங்கி நிற்கும் ரசமட்டத்திற்கு

முள்ள வேற்றுமையே, அறையினது சூட்டிலே, நாம் உட்செலுத்திய திரவத்தின் ஆவிஇறுக்கமாகும்.

பலவேறு திரவங்களின் ஆவி-இறுக்கங்களைக் காண வேண்டுமானால், மேலே கூறியபடி பலவேறு பாரமானிக் குழாய்களை ரசம் நிரப்பிவைத்து, ஒவ்வொன்றிலும் ஒவ்வொரு திரவத்தை உட்செலுத்தி வைக்கவும். ஒவ்வொன்றிலும் ரசநிரையின்மீது சிறிதளவு திரவப் படலம் தங்கி இருக்கும்படி செய்யவேண்டும். ஒரு பாரமானிக்குழாயைமட்டும் திரவம் ஏற்ருது வைத்திருக்கவேண்டும். இதிலுள்ள ரசநிரையின் உயரத்திற்கும், மற்ற ஒவ்வொரு குழாயிலிருக்கும் ரசநிரையின் உயரத்திற்கும் உள்ள வேற்றுமை, அந்தத் திரவத்தின் ஆவி இறுக்கமாகும்.

தேவிட்டிய ஆவி-இறுக்கமும் பருமையும்:—ஒரு பாரமானிக்குழாயை ரசம் நிரப்பி நிறுத்திவைத்து, அதனுள்ளே வேண்டியவரை சாராயத்தைச் செலுத்தி, ஒரு சிறு திரவப்படலம் ரசநிரையின்மீது ஆவியாகாமல் தேங்கி நிற்கும்படி செய்யவும். இப்போது ரசநிரையின் உயரத்தை அளந்தால், இதற்கும் பவனஇறுக்க உயரத்திற்குமுள்ள வேற்றுமையே சாராயத்தின் ஆவி இறுக்கமாகும். குழாயின் வாயைச் சற்று ரசத்தினுள்ளே அழுத்தி, ஆவி நிறைந்துள்ள இடத்தின் பருமையைக் குறைக்கவும். சிறிது நேரங்கழித்து மறுபடியும் ரசநிரையின் உயரத்தை அளவிடவும். இது முன்னைய உயரத்தையே கொண்டிருப்பது தெரியவரும். இதனல் ஆவியின் பருமை குறைந்ததால் அதன் இறுக்கம் பாதிக்கப்படவில்லை என்று காண்கிறோம். உற்றுப்பார்த்தால் ரசநிரையின் மேல்நிற்கும் திரவப்படலத்தின் கனம் அதிகரித்திருப்பதைக் காணலாம். எனவே தெவிட்டிய ஆவியின் பருமை குறைந்தபோது, அதன் ஒரு பகுதி

திரவமாகப் படிந்து, இறுக்கத்தை முன்னிலையிலேயே நிறுத்திவிட்டது என்று ஊகித்துக்கொள்ளலாம்.

இப்போது ஆவியின் பருமை அதிகரிக்குமாறு அதைச் சற்று மேலே தூக்கவும். இவ்வாறு தூக்கும் போது குழாயின்வாய் தொட்டியிலுள்ள ரசமட்டத்தின் மேலே எழுந்துவிடாதவாறு பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும். மற்றும் இவ்வாறு குழாயை மேலே தூக்கும் போது, ரசநிரையின்மீதுள்ள திரவப்படலம் முற்றும் ஆவியாகி மறைந்துவிடலாம். அவ்வாறே ஆகிவிட்டால் பின்னும் சிறிது திரவத்தை உட்செலுத்தி, எப்படியும் ரசநிரையின்மீது ஒரு மெல்லிய திரவப்படலம் தேங்கி இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். மறுபடியும் ரசநிரையின் உயரத்தை அளவிடவும். இப்போது அது முன்னைய உயரத்தையேகொண்டிருப்பதைக் காணலாம். இதனால் ஆவியின் பருமை அதிகமானதால், அதன் தெவிட்டிய இறுக்கம் பாதிக்கப்படவில்லையென்று தெரிந்துகொள்ளலாம். பருமை அதிகமானபோது கீழே தேங்கிநின்ற திரவத்தின் ஒரு பகுதி ஆவியாகி இறுக்கத்தை முன்னைய நிலைக்குக் கொண்டுவந்துவிட்டது. இப் பரிசோதனையால் தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் அதன் பருமையைச் சார்ந்ததல்லவென்றும், எனவே பாயிலின் விதி தெவிட்டிய ஆவியின் விஷயத்தில் செல்லாது என்றும் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

## தெவிட்டிய ஆவியும் காற்றும்

ஒரு பாரமானிக்குழாயை எடுத்து, அதில் பாதரசத்தை நிரப்பி, பாதரசம் நிறைந்த தொட்டியிலே கவிழ்த்து ஒரு பாரமானி தயார் செய்யவும். ரசநிரையின் உயரத்தை அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். இது H என்று கொள்வோம். ஒரு குறுங்குகுழாயும் துருத்தியையும்கொண்டு, ஒன்றிரண்டு காற்றுக்குமிழ்

கலைக் குழாயினுள் செலுத்தவும். இப்போது ரசநிரை யின் உயரம் குறைந்துவிடும். $h_1$ என்னும் இந்த உய ரத்தை அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும்.

காற்று நிரையின் $l_1$ என்னும் நீளத்தையும் அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு குறுங்குழாயினாலே கொஞ்சம் சாராயத்தைக் குழாயினுள் செலுத்தி, ரச நிரையின்மீது ஒரு மெல்லிய திரவப்படலம் தேங்கி நிற்கும்படி செய்யவும். இப்போது ரசநிரையின் உய ரம் பின்னும் குறையும். $h_2$ என்னும் இந்த உயரத்தை யும், இப்போது காற்றும் ஆவியும் கலந்துள்ள நிரையின் $l_2$ என்னும் நீளத்தையும் அளந்து குறித்துக்கொள்ள வும்.

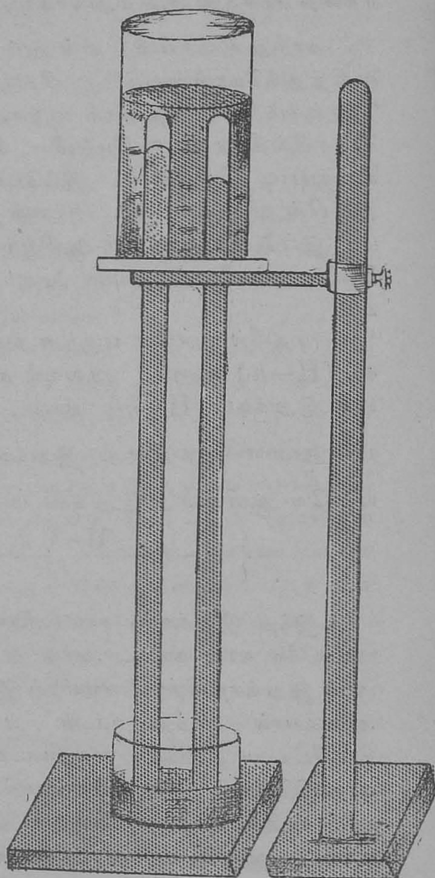
முதலில் உள்ளே புகுந்து நின்ற காற்றினது இறுக் கம் $(H-h_1)$ ஆகும். ஆவியும் காற்றும் கலந்த கலவை யின் இறுக்கம் $(H-h_2)$ ஆகும். ஆனால் ஆவி புகுந்த பின்னுள்ள காற்றினது இறுக்கம் $\frac{(H-h_1)\ l_1}{l_2}$ ஆகும். எனவே ஆவியினது இறுக்கம் மட்டும்

$$\left\{ H-h_2-\frac{(H-h_1)l_1}{l_2} \right\}$$ ஆகும்.

இந்த இறுக்கம், சாமானியமாய் அந்த அறையின் சூட்டிலே நாம் கண்ட அந்த திரவத்தின் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கத்திற்குச் சமமாய் இருப்பதைக் காணலாம். ஆகையால் காற்று உடன் புகுந்ததனால் ஆவியின் தெவிட்டிய இறுக்கம் மாறுபடவில்லை என்பதை நாம் காண்கிறோம். காற்றுக்குப் பதிலாக வேறு வாயுக்களை நாம் பிரயோகித்திருந்தாலும் இதே முடிவைப் பெற லாம். ஆனால் நாம் உட்செலுத்திய வாயு ஆவியோடு இரசாயன முறையிலே கலக்கக்கூடியதாய் இருக்கக் கூடாது. எனவே, ஒரு ஆவியின் தெவிட்டிய இறுக் கம், அதனோடு இரசாயன முறையிலே கலக்காத வேறு

வாயுக்கள் உடனிருப்பதால் பாதிக்கப்படுவதில்லை என்று அறிகிறோம். ஆனால் இந்த வாயுக்கள் உடனிருப்பதால் பாழிடத்தில் நிகழ்வதைவிட ஆவியாதல் சற்று மெதுவாகவே நிகழும்.

பலவேறு சூடுகளிலேற்படும் ஆவி இறுக்கம் :—இரண்டு பாரமானிக் குழாய்களைத் தயார்செய்து நிறுத்தி வைக்கவும் (படம் 190). இவற்றின் மேற்பகுதியை ஒரு கண்ணாடித் தொட்டியால் மூடவும். இத்தொட்டியினடியிலுள்ள துவாரங்கள் வழியாக, பாரமானிக் குழாய்கள் உட்சென்றிருக்கவேண்டும். தொட்டியில் வார்க்கப்பட்ட தண்ணீர் வெளியே வராதபடி இக் குழாய்கள் நுழையும் துவாரங்களிலே ரப்பர்க் குழாய்கள் செருகப்பட்டிருக்கவேண்டும்.



படம் 190

தொட்டியில் நீரை நிரப்பிவிட்டு, ஒரு குழாயினுள்ளே

வேண்டிய திரவத்தை உட்செலுத்தி, பாழிடம் முழுவதும் ஆவி நிரம்பி ரசநிரையின்மீது ஒரு திரவப்படலம் ஏற்படுமாறு செய்யவும். தொட்டியிலுள்ள நீரைத் துடுப்பினாலே நன்றாகக் கலக்கிவிட்டு, அதன் சூட்டை ஒரு உஷ்ணநிலைமானியால் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இரண்டு குழாய்களிலும் ரசநிரைகளின் உயரங்களை அளந்து, அவற்றின் வேற்றுமையைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். தண்ணீரின் சூடு $t_1°c$ என்றும், ரசநிரைகளின் உயரவேற்றுமை $d_1$ என்றும் கொள்வோம். தொட்டியிலுள்ள நீரைச் சுடவைத்து அதன் சூடு $t_2°c$ ஆனவுடன், மறுபடியும் ரசநிரைகளின் வேற்றுமையாகிய $d_2$-ஐ கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இவ்வாறே $t_3$, $t_4$, $t_5$... என்ற பலவேறு சூடுகளிலே, முறையே ஏற்படும் ரசநிரைகளின் உயர வேற்றுமைகளாகிய $d_3$, $d_4$, $d_5$... ஆகியவற்றைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும்.

இவ்வாறு சூடேற்றும்போது எப்போதும் திரவமேற்றிய குழாயிலுள்ள ரசநிரையின்மீது திரவத்தின் படலமொன்று தேங்கி இருக்கும்படி செய்யவேண்டும். திரவம் ஆவியாகிவிட்டால் அவ்வப்போதும் வேண்டிய திரவத்தை உட்செலுத்திக்கொண்டே இருக்கவேண்டும். மற்றும் ஒவ்வொரு சூட்டை அடைந்த பின்னர் சற்றுப் பொறுத்து, அதேசூட்டை ஆவி அடைவதற்காகக் காத்திருந்தபின்னரே ரச நிரையின் உயரத்தைக் காணவேண்டும். ரசநிரையின் உயரத்தைக் கண்ட பின்னரே சூட்டைக் காணவேண்டும். மேலும் இப்பரிசோதனை முடியும்வரையிலும் தண்ணீரைத் துடுப்பினால் கலக்கிக்கொண்டே இருக்கவேண்டும்.

இவ்வாறு கண்ட முடிவுகளைப் பார்த்தால் சூடேறும்போது ஆவியின் தெவிட்டிய இறுக்கமாகிய $d$ அதிகரித்துக்கொண்டு போவது விளங்கும். $t_1$, $t_2$, $t_3$... என்ற சூடுகளை 'X' இருசிலும், $d_1$, $d_2$, $d_3$... என்னும்

ஆவி இறுக்கங்களை 'y' இருசிலும் கொண்டதொரு உருவகம் வரையவும். இது நேர்கோடாயிராமல் மேற்புறம் குடிலமானதொரு (concave upwards) வளைவு

| $t°c$ | மி.மீ. | $t°c$ | மி.மீ. | $t°c$ | மி.மீ. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 4·60 | 19 | 16·35 | 70 | 233·08 |
| 1 | 4·94 | 20 | 17·39 | 75 | 288·50 |
| 2 | 5·30 | 21 | 18·50 | 80 | 354·62 |
| 3 | 5·69 | 22 | 19·66 | 85 | 433·00 |
| 4 | 6·10 | 23 | 20·89 | 90 | 525·39 |
| 5 | 6·53 | 24 | 22·18 | 95 | 633·69 |
| 6 | 7·00 | 25 | 23·55 | 99 | 733·21 |
| 7 | 7·49 | 26 | 23·99 | 99·1 | 735·85 |
| 8 | 8·02 | 27 | 26·51 | 99·2 | 738·50 |
| 9 | 8.57 | 28 | 28·10 | 99·3 | 741·16 |
| 10 | 9·17 | 29 | 29·78 | 99·4 | 743·83 |
| 11 | 9·79 | 30 | 31·55 | 99·5 | 746·50 |
| 12 | 10·46 | 31 | 41·83 | 99·6 | 749·18 |
| 13 | 11·16 | 40 | 54·91 | 99·7 | 751·87 |
| 14 | 11·19 | 45 | 71·39 | 99·8 | 754·57 |
| 15 | 12·70 | 50 | 91·98 | 99·9 | 757·28 |
| 16 | 13·54 | 55 | 117·48 | 100 | 760·00 |
| 17 | 14·42 | 60 | 148·79 | | |
| 18 | 15·36 | 65 | 186·94 | | |

படம் **190** (1)

கோடாக இருக்கும். இதனால் சார்லஸ் விதி தெவிட்டிய ஆவிக்குச் செல்லாது என்பது விளங்கும். சூட்டினால் ஏற்படும் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கத்தின் அதிகரிப்பு சார்லஸ் விதியில் கண்டதைவிட அதிகமாயிருக்கும். படத்தில் (படம் 190(1)) தண்ணீரின் தெவிட்டிய ஆவியிறுக்கங்கள் பல சூடுகளில் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

ஆவிகளைப்பற்றிய டால்டன் விதிகள் :—மேலே கண்ட சோதனைகளின் முடிவுகள் முதன் முதலில் டால்டன் என்னும் அறிஞரால் கண்டு வெளியிடப்பட்டவையாதலால், 'டால்டன்.' விதிகள் எனப் பெயர் பெற்றன. அவற்றை எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு :

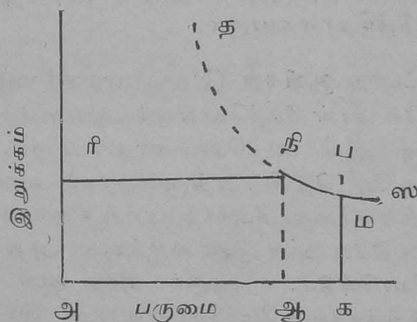
(1) ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம் அதன் சூட்டை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது. அது ஆவியின் பருமையைச் சார்ந்ததல்ல. மற்றும் வேறு வாயுக்களோ அல்லது ஆவிகளோ அதனோடு கலப்பதால் அது பாதிக்கப்படுவதில்லை.

(2) ஒன்றோடொன்று இரசாயனக் கலப்பில்லாத பலவேறு ஆவிகள் கொண்டதொரு சேர்க்கையின் இறுக்கம், அவை ஒவ்வொன்றும் தனித்தனியே அதே இடத்தில் வியாபித்திருந்தால் இருக்கக்கூடிய இறுக்கங்களின் கூட்டுத்தொகையாகும்.

தேவிட்டாத ஆவிகள் (Unsaturated vapours) ஒரு சூட்டிலே தான் மேற்கொள்ளக்கூடிய உச்ச இறுக்கத்தை ஒரு ஆவி மேற்கொள்ளாதுபோனல், அது அந்த சூட்டிலே தெவிட்டாதிருப்பதாகக் கூறப்படும். சிறிதளவு திரவத்தை, உலர்ந்த காற்று நிறைந்ததொரு பெரிய இடத்திலே அடைத்து வைத்தால், அது முற்றிலும் ஆவியாகிவிடும். ஆனல் அந்த ஆவி தனது உச்சநிலை இறுக்கத்தை மேற்கொண்டிராது. இந்த ஆவி தெவிட்டாதது என்று கூறப்படும். இந்தச் சந்தர்ப்பத்திலே ஆவி சாமானிய வாயு விதிகளுக்குக் கட்டுப்படுகிறது. அதாவது இந்த ஆவியின் பருமை குறைந்தால் அதன் இறுக்கம் பாயில் விதிப்படி அதிகரிக்கிறது. இவ்வாறு பருமை குறையக்குறைய இறுக்கம் அதிகரித்துக்கொண்டே போகும்போது, அப்போதுள்ள சூட்டிற்குரிய தெவிட்டிய இறுக்கத்தை ஆவி அடைந்து

விட்டால், பிறகு அது பாயில் விதிக்குக் கட்டுப்படுவதில்லை. பருமையைப் பின்னும் குறைத்தால் ஆவி இறுக்கம் அதிகரிப்பதில்லை. அதற்குப் பதிலாகச் சிறிதளவு ஆவி திரவமாகப் படிந்துவிடுகிறது.

இவ்வாறே தெவிட்டாத ஆவியின் பருமையை மாற்ருமல் அதன் சூட்டை மட்டும் உயர்த்திஞல், அதன் இறுக்கம் சார்லஸ் விதிக்குட்பட்டு அதிகரிக்கும். அதாவது இறுக்கம் அதன் தனியியல் சூட்டிற்கு ஏற்பவிருக்கும். சூட்டைக் குறைத்தால், மறுபடியும் சார்லஸ் விதிக்குட்பட்டே அதன் இறுக்கமும் குறைவுபடும். இது ஆவியின் தெவிட்டிய இறுக்கம் வரும்வரையில் நிகழும். பின்னும் சூடு குறைக்கப்பட்டால், அதன் இறுக்கம் சார்லஸ் விதியை மீறி அதிகமாகக் குறைவுபடும். சிறிதளவு ஆவி திரவமாகிப் படிந்துவிடும்.




படம் 191 (2)

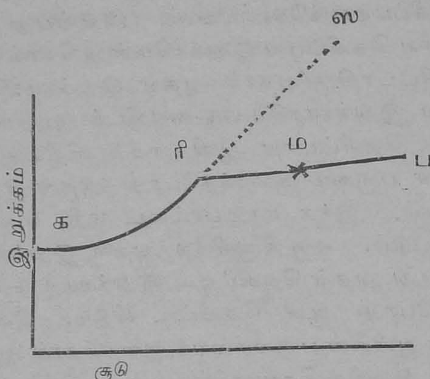
சூடு பின்னரும் குறைக்கப்பட்டால் இறுக்கமும் குறைந்துகொண்டே வரும். ஆனல் எப்போதும் அதன் இறுக்கம் அந்தந்தச் சூட்டிற்குரிய தெவிட்டிய இறுக்கமாகவே இருக்கும். அதாவது ஆவி எப்போதும் தெவிட்டியே இருக்கும். இந்த முடிவுகளையெல்லாம் கீழ்க்கண்டவாறு படம் வரைந்து காட்டலாம். (படம் 191 (2)).

ஒரு தெவிட்டாத ஆவியின் பருமையையும், இறுக்கத்தையும், ம என்னும் புள்ளியின் ஆயங்கள் (co-ordinates) குறிப்பதாகக்கொள்வோம். பக என்பது இந்தச் சூட்டிற்குரிய தெவிட்டிய இறுக்கமென்று கொள்வோம். ஆவி தெவிட்டாதிருப்பதால் அதன் இறுக்கமாகிய மக தெவிட்டிய இறுக்கமாகிய பக-வைவிடக் குறைவாகவே இருக்கும். தெவிட்டாத ஆவி பாயில் விதிக்குட்படுவதால் அதன் பருமை குறைந்தபோது அதன் இறுக்கம் அதிகரிக்கும். இந்த மாறுபாட்டை மநி என்னும் வளைவு காட்டும். ஒரு நிலையிலே அதன் இறுக்கமாகிய நிஆ என்பது அதன் தெவிட்டிய இறுக்கம் பக-வுக்குச் சமமாகும்போது ஆவி தெவிட்டி விடும். இதைவிட அதிகமாக ஆவியின் பருமையைக் குறைத்தால் ஆவியின் ஒரு பகுதி இறுகித் திரவமாகிப் படிந்துவிடும். இதனால் இறுக்கம் அதிகரிக்காது ஒரே நிலையில் நின்றுவிடும். இதற்குமேல் பருமையைக் குறைப்பதாலேற்படும் மாறுபாடு பருமை இருசுக்கு இணையான நிரீ என்னும் நேர்கோட்டினால் குறிக்கப்படும்.

நிற்க, தெவிட்டாததொரு ஆவியின் பருமை அதிகரிக்கப்பட்டால், அதன் இறுக்கம் பாயில் விதிப்படி குறைந்துகொண்டே போகும். பருமை அதிகரிக்கவே ஆவியின் தெவிட்டாத தன்மையும் அதிகரித்துக் கொண்டே போகுமாதலால் இந்த விதியில் யாதொரு மாறுபாடும் நிகழாது. இவ்வாறு பருமை யதிகரிப்பதாலேற்படும் மாறுபாட்டை தநிம என்னும் பாயில்விதி வளைவின் மஸ என்னும் தொடர்ச்சி காட்டும்.

இந்தப் படத்திலே (படம் 192) ஸரிக என்னும் வளைவு பலவேறு சூடுகளில் தெவிட்டிய இறுக்கங்களைக் காட்டுகிறது. ம என்னும் புள்ளியின் ஆயங்கள் ஒரு தெவிட்டாத ஆவியின் சூட்டையும் இறுக்கத்தையும் காட்டுவதாகக்கொள்வோம். இது சார்லஸ் விதிக்குட்

படும். ஆகையால் இதன் சூடு குறைக்கப்பட்டால் அதன் இறுக்கம் மரி என்னும் சார்லஸ் விதிக் கோட்டிலே




படம் 192

குறைந்து செல்லும். இது ஸரிக என்னும் தெவிட்டிய இறுக்கவரையை ரி-யிலே குறுக்கிடும்வரை நிகழும். ரி-க்குரிய சூட்டை அடைந்தவுடனே ஆவியின் இறுக்கம் அதன் தெவிட்டிய இறுக்கத்திற்குச் சமமாகும். எனவே, இதன் சூடு பின்னும் குறைந்தால் ஆவியின் ஒரு பகுதி குளிர்ந்து திரவமாகப் படிந்துவிடும். இனி ஒவ்வொரு சூட்டிலும் அதன் இறுக்கம் ரிக என்னும் வரையினால் குறிக்கப்படும்.

தெவிட்டாத ஆவியைச் சூடேற்றினால் அதன் இறுக்கம் சார்லஸ் விதிப்படி அதிகரிக்கும். இந்த மாறுபாடு ரிம என்னும் சார்லஸ் விதிவரையின் தொடர்ச்சியான மப என்னும் வரையினால் குறிக்கப்படும்.

ஆவிகளைத் திரவமாக்குதலும் அவதிச் சூடுகளும் (Liquefaction of gases and critical temperature):—ஒரு தெவிட்டாத ஆவியின்மீது அதன் புறத்திலிருந்து ஒரு இறுக்கத்தைப் பிரயோகித்தால் அதன்

இறுக்கம் அதிகரித்து, ஒரு நிலையிலே அது அந்த ஆவியை தெவிட்டிய நிலையை அடையச்செய்யும். பின்னும் இறுக்கத்தைப் பிரயோகித்தால் ஆவி திரவமாகி விடும். ஆனால் தீயகவாயு, நீரகவாயு, காலகவாயு (Nitrogen) போன்றவற்றை இவ்வாறு இறுக்கத்தை மட்டும் பிரயோகித்து திரவமாக்கிவிட முடியாது. அவை ஒவ்வொன்றையும் முதலில் அவ்வவற்றிற்குரிய தொரு சூட்டை அடையுமாறு குளிரவைத்து, அதன் பின்னரே இறுக்கத்தைப் பிரயோகித்து அவற்றை திரவப்படுத்தமுடியும். ஒவ்வொரு வாயுவிற்கும் சிறப்பியல்பான இந்தச் சூடு அதன் அவதிச் சூடு (Critical temperature) எனப்படும். இந்தச் சூட்டிற்குக் கீழே தான் இறுக்கத்தைமட்டும் பிரயோகித்து அந்த வாயுவைத் திரவப்படுத்தக்கூடும்.

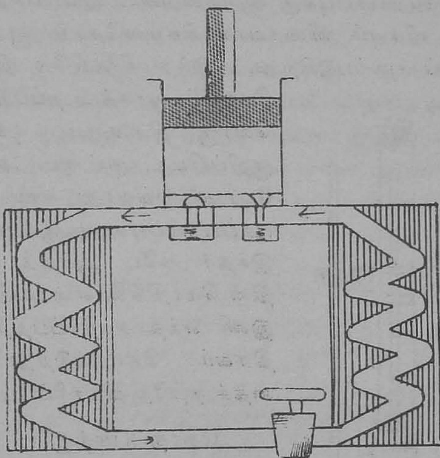
ஒரு வாயு எந்தச் சூட்டிற்கு மேலே இருந்தால், அதை இறுக்கத்தை மட்டும் பிரயோகித்துத் திரவப் படுத்த முடியாதோ, அந்தச் சூடே அந்த வாயுவின் 'அவதிச்சூடு' எனப்படும் என்று இலக்கணம் கூறலாம்.

இவற்றிலிருந்து தனது அவதிச்சூட்டிற்குக் கீழான தொரு சூட்டைக் கொண்டிருக்கும் எந்த வாயுவும் ஆவியேயாகும் என்பது தெளிவாகிறது. நாம் மேலே குறிப்பிட்ட நிரந்தர வாயுக்களின் அவதிச்சூடுகள் சாமானியச் சூட்டைவிட மிகக் குறைவானது. இதனாலேயே இறுக்கத்தால் திரவப்படுத்துமுன் அவற்றை அதிகமாகக் குளிரச்செய்யவேண்டியிருக்கிறது.

தட்ப யந்திரங்களும் பனிக்கலங்களும் (Ice-machines and refrigerators) :—ஆவியாதலினால் குளிர்ச்சி ஏற்படும் என்னும் தத்துவம் தட்ப யந்திரங்களிலும் பனிக்கலங்களிலும் கையாளப்படுகிறது. அமோனியா, கரியிருதீயதை (carbon-dioxide), கந்தக

இருதீயதை (Sulphur dioxide) என்னும் திரவங்களி லொன்று உபயோகிக்கப்படுகிறது. அமோனியா எனப் படும் நவச்சார ஆவியை 10°c சூட்டிலே 6 பவன இறுக் கத்தைக்கொண்டு திரவப்படுத்தலாம். கரி இருதீய தையை 15°c சூட்டிலே 52 பவனஇறுக்கத்தைக்கொண்டு திரவப்படுத்தலாம். கந்தக இருதீயதையை 18°c சூட் டிலே மூன்று பவன இறுக்கத்தைக்கொண்டு திரவப் படுத்தலாம். எந்த வாயுவைக் கையாண்டாலும் ஒரு இறைவியினுல் இறுத்தப்படும். இந்த இறைவி ஒரு நீராவி என்ஜினைக்கொண்டாவது அல்லது மின்சார மோட்டாரைக்கொண்டாவது இயக்கப்படும். இவ்வாறு இறுத்தப்படுவதால் சூடு உயரும். இவ் வாயுவைக் கொண்டிருக்கும் குழாய்களைச் சூழ்ந்தோடும் தண்ணீர் அருவி இந்த வெப்பத்தை உட்கொண்டு வாயுவின் சூட்டைத் தணியச்செய்யும். வேண்டியவரை சூடு தணிந்தவுடனே வாயு இறுகித் திரவமாய்விடும். இத னுல் வெளியிடப்படும் கரவு-வெப்பமும் தண்ணீர் அருவி யால் கொண்டு செல்லப்படும். உறைப்பான சுதைய பாசிதை (Calcium chloride) கரைநீரிலே அமிழ்ந் துள்ள குழாய்ச்சுருள்கள் வழியாக இத் திரவம் ஓடும். இக் கரைநீர் 0°c சூட்டின் கீழும் இறுகுவதில்லை. இக் குழாய்ச்சுருள்களிலே ஓடும்போது இறைவி உறிஞ்சுதலி னுலே இத் திரவம் ஆவியாகிவிடும். இதனுல் ஏற்படும் குளிர்ச்சி சுதைய பாசிதைக்கரை நீரைக் குளிரச்செய் கிறது. இக் கரைநீர் ஒரு தொட்டியிலே சென்று நிரம் பும். அத் தொட்டியிலே வைக்கப்பட்டுள்ள சதுர வடிவ மான தகரக்கிண்ணங்களிலே நிறைந்திருக்கும் தண்ணீர் உறைந்து பனிக்கட்டியாகிவிடுகிறது. பனி அறை களிலே குளிர்ந்த சுதைய பாசிதைக் கரைநீர் மேற் கூரையை அடுத்துள்ள பல குழாய்களின் வழியாகச் சுற்றி ஓடும். குளிர்ந்த காற்று கனமானதாகையால்

அது கூரையனடியிலிருந்து கீழே இறங்கி அறையைக் குளிர்ச்சியடையச் செய்யும். சில நவீன பனிக்கலங்களிலே கந்தக இருதீயதை வாயுவே கையாளப்படுகிறது. பனிக்கலங்களின் அடியிலோ அல்லது பக்கங்களிலோ செல்லும் குழாய்களிலே இவ்வாயு இறுத்தப்படுகிறது. இக் குழாய்கள் விசிறிகளாலே குளிரச்

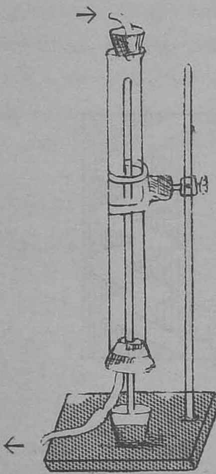


படம் 193

செய்யப்படுகின்றன. இறைவியை இயக்கும் மோட்டாரே இவ்விசிறிகளையும் சுழற்றுகிறது. இதனுல் வாயு குளிர்ந்து இறுகித் திரவமாய் விடுகிறது. இத் திரவம் பனிக்கலத்தின் மேலேயுள்ள குழாய்ச் சுருள்களிலே சென்று ஆவியாகிக் குளிர்ச்சியையுண்டாக்குகின்றன. இவற்றின் செயல் முறைத் தத்துவத்தைப் படத்திலிருந்து உணரலாம். (படம் 193).

கோதித்தல் :—சாமானிய சூடுகளிலே ஆவியாதல் என்பது திரவங்களின் மேற்பரப்பில் மட்டுமே நிகழ்

கிறது. இதனால் திரவம் ஆவியாவது கண்ணுக்குப் புலப்படுவதில்லை. சூடு அதிகரிக்கும்போது ஆவியாகும் வேகமும் அதிகரிக்கிறது. ஒரு சூட்டையடைந்தவுடன் பரப்பில் நிகழ்தல் போலவே அத்திரவமுழுவதிலுமே ஆவியாதல் நிகழ ஆரம்பிக்கிறது. ஆவிக் குமிழிகள் திரவத்தினுள்ளே தோன்றிக் கொப்புளித்து மேலெழுந்து மேற்பரப்புக்கு வருகின்றன. இப்போது ஆவியாதல் மிகவும் விரைவாக நிகழ்வதோடு அது கண்ணுக்குப் புலப்படுகிறது. இந்த நிலையிலே திரவம் கொதிப்பதாகக் கூறப்படும். ஒவ்வொரு திரவமும் ஒவ்வொரு குறிப்பிட்ட சூட்டை அடைந்தபோது இவ்வாறு கண்ணுக்குப் புலப்படும்படியாக ஆவியாகிறது. இந்தச் சூடே அந்தத் திரவத்தின் கொதிநிலை எனப்படும். நாம் இனி எந்த சந்தர்ப்பத்தில் ஒரு திரவம் கொதிக்கிறது என்பதைச் சற்றே விசாரிப்போம்.



படம் 194

கொதிப்பதற்குரிய நிபந்தனை :—ஒரு பாரமானிக் குழாயைத் தயார்செய்து வைக்கவும். ரசநிரையின்மீது சிறிதளவு தண்ணீரை ஏற்றிக் குழாய் முழுவதையும் படத்தில் கண்டபடி (படம் 194) ஒரு பெரிய கண்ணாடிக் குழாய்க் கூட்டினால் சூழவைக்கவும். இந்தக் கூட்டின் மேல்வாயை அடைப்பானால் மூடி, அதன் வழியாகச் செல்லுமொரு குழாயினால் அதை நீர் கொதிக்கும் ஒரு கலத்தோடு இணைத்துவிடவும். இதன் கீழ் வாயையும் ஒரு அடைப்பானாலடைத்து அதன் வழி

யாக ஆவி வெளிவருவதற்கான ஒரு சிறு கண்ணுடிக் குழாயைச் செருகி வைக்கவும். ஆவியைக் கூட்டினுள்ளே செலுத்தவும். சூடேறவே பாரமானிக் குழாயினுள்ளிருக்கும் நீராவியின் இறுக்கம் அதிகரித்துக் கொண்டே வரும். இதனுல் ரசநிரை கீழிறங்கிவரும். கடைசியாகச் சமநிலைமை அடையும்போது பாரமானிக் குழாய்க்கு அகத்திலும் புறத்திலும் ரசமட்டம் ஒன்ருகவே இருப்பதைக் காணலாம். இப்போது நீராவியின் இறுக்கம் பவன இறுக்கத்திற்குச் சமமாகிறது. இதிலிருந்து நீரின் ஆவி இறுக்கம் அதன் பரப்பின் மீதுள்ள இறுக்கத்திற்கு அதாவது இந்தப் பரிசோதனை நிகழும்போது காணப்படும் பவன இறுக்கத்திற்குச் சமமானபோது நீர் கொதிக்கிறது என்று தெரிந்து கொள்ளுகிருேம்.

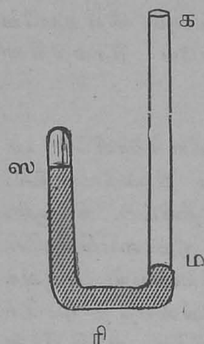
ஒரு திரவத்தின் கோதிநிலையைக் காண:—திரவம் வேண்டிய அளவுக்குக் கிடைக்கக் கூடுமானுல் அதன் கொதிநிலையைக் காணும் முறை வருமாறு:— ஒரு பெரிய கொதிநிலைக் குழாயினுள் திரவத்தைப் பெய்து அதனை இரண்டு துவாரங்கள் கொண்டதொரு அடைப்பானுல் அடைத்துவிடவும். ஒரு துவாரத்திலே ஒரு சிறிய கண்ணுடிக் குழாயைச் செருகி வைக்கவும். இது ஆவி வெளிப்படுவதற்குதவும். மற்ருெரு துவாரத்தின் வழியாக ஒரு உஷ்ணநிலைமானியைச் செருகி வைக்கவும். உஷ்ணநிலைமானியின் குமிழ் உள்ளே இருக்கும் திரவ மட்டத்திற்கு மேலேயே அதைத் தொடாமல் நிற்கவேண்டும். கொதிக்கும்போது பொங்கி வழியாது இருப்பதற்காக இரண்டொரு கண்ணுடி மணிகளையும் குழாயினுள் போட்டு வைக்கலாம். திரவத்தின் கொதிநிலை தண்ணீரின் கொதிநிலையைவிடக் குறைந்ததாக விருந்தால் இதை ஒரு சுவாலையிலே நேரே வெப்பம் ஏற்றுவதைவிட, ஒரு நீர்த்

தொட்டியிலே வைத்து அத் தொட்டிக்கு வெப்பம் ஏற்றுவது நலம். வெப்பத்தை உட்கொண்ட திரவம் கொதிக்கும்போது உஷ்ணநிலைமானியைப் பார்த்தால், அது ஒரே சீரான சூட்டைக் காட்டிக்கொண்டிருப்பது விளங்கும். தண்ணீரின் சூடு இதைவிட அதிகமாக இருப்பினும் திரவத்தின் சூடுமட்டும் அதே நிலையில் தங்கியிருக்கும். இப்போது உஷ்ணநிலைமானியில் காணப்படும் சூடே திரவத்தின் கொதிநிலையாகும். மானி திரவத்திலே வைக்கப்படாமல் அதன் ஆவியில் தான் வைக்கப்படவேண்டும். ஏனெனில் திரவத்தில் ஏதேனும் அந்நிய பதார்த்தங்கள் கலந்திருந்தால் திரவத்தின் சூடு தூய திரவத்தின் கொதிநிலையைவிட அதிகமாய் இருக்கும். ஆனால் ஆவியின் சூடு மட்டும் இவ்வாறு மாறுபடாமல் தூய திரவத்தின் கொதிநிலையிலே நிற்கும். எனவே இந்தப் பரிசோதனையில் மானியை உள்ளே அழுத்தி, அதன் குமிழைத் திரவத்தினுள்ளே முழுகச் செய்யும்போது அதன் வாசகம் வேறுபட்டால் திரவம் தூய்மையற்றதென்றும், வாசகம் வேறுபடாமல் இருந்தால் திரவம் தூய்மையானதென்றும் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

(2) ஒரு திரவத்தினது பரப்பின்மீதுள்ள இறுக்கம் அத்திரவத்தின் ஆவி இறுக்கத்திற்குச் சமமானபோது திரவம் கொதிக்க ஆரம்பிக்கும் என்ற உண்மையைக் கொண்டு ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலையை நிர்ணயிக்கலாம். நமக்குக் கிடைக்கும் திரவத்தின் அளவு மிகக் குறைவானதாய் இருக்கும்போது இந்த முறை பெரிதும் பயன்படுவதாகும்.

ஸரிக என்பது J வடிவமானதொரு குழாய். (படம் 195). இதன் சிறிய கிளையின் வாய் மூடப்படும். பெரிய கிளையின் வாய் திறந்து இருக்கும். இதனுள்ளே சிறிது

பாதரசத்தை க என்னும் வாய் வழியாக இட்டு சிறிய கிளை முழுவதையும் ரசத்தினால் நிரப்பி விடவும். ரசம் ரி என்னும் வளைவை நிரப்பிப் பெரிய கிளையில் சிறிது உயர ஏறி நிற்கவேண்டும். இதனுள் காற்றுக் குமிழிகள் எங்கும் தங்காதவாறு பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். இதனுள்ளே ஏதேனுமொரு திரவத்தில் சிறிதளவு பெய்து அதை மெதுவாகச் சிறிய கிளையிலே ரசநிரைக்கு மேலே சென்று தங்கும்படி செய்யவும். இப்போது திரவத்தின் மீதுள்ள இறுக்கம் பவன இறுக்கத்தைவிடக் குறைவானது. இதை ஒரு தாங்குகாலில் செங்குத்தாக ஏற்றிவைத்து, இதன் அடிப்பாகத்தைச் சிறிய கிளையின் உயரம் வரை, ஒரு குவளையிலுள்ள தண்ணீரிலே முழுகி நிற்கும்படி செய்யவும். தண்ணீரிலே ஒரு உஷ்ணநிலைமானியை இட்டு அது சிறிய கிளையை ஒட்டி நிற்கும்படி செய்யவும். குவளையில் ஒரு துடுப்பையும் வைத்து மெதுவாகத் தண்ணீரைக் காய்ச்சவும். இவ்வாறு காய்ச்சும்போது சிறிய கிளையிலே அடைபட்டுள்ள திரவம் ஆவியாவதால் அதிலுள்ள ரசநிரை கீழிறங்கிவரும். இவ்வாறு வரும்போது ஸ, ம என்ற இரண்டு ரசநிரைகளும் ஒரே மட்டத்திற்கு வரும்போது, தண்ணீரை நன்றாகக் கலக்கி விட்டு, அதன் சூட்டை உஷ்ணநிலைமானியில் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இது $t_1°C$ என்று கொள்ளவும். தண்ணீரைப் பின்னும் காய்ச்சி ஸ என்னும் ரசநிரை ம என்னும் நிரையை விடக் கீழே செல்லும்படி செய்ய



படம் 195

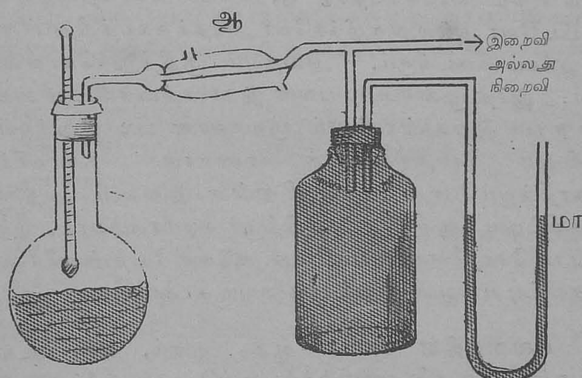
வும். இப்போது காய்ச்சுவதை நிறுத்திவிட்டு தண்ணீரை ஆறவிடவும். மறுபடியும் ரசமட்டங்கள் ஒன்றுகும்போது $t_2°C$ என்னும் சூட்டைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இந்த இரண்டு சூடுகளும் சிறிதளவே வேறுபடும். இவற்றின் பொதுமையே திரவத்தின் கொதிநிலையாகும்.

மட்டங்கள் ஒன்றுகும்போது சிறிய கிளையிலே ரசமட்டத்தின் மீது ஒரு திரவப் படலம் நிற்கவேண்டும். அப்போதுதான் அங்குள்ள ஆவி தெவிட்டி நிற்கும். திரவம் முழுவதும் ஆவியாகிவிட்டால் குழாயை வெளியிலெடுத்து, அதனுள்ளே பின்னும் வேண்டிய அளவுக்குத் திரவத்தைப் பெய்து, பரிசோதனையைத் திருப்பிச் செய்யவேண்டும். இப்பரிசோதனையிலே ஆவியின் தெவிட்டிய இறுக்கம் பவன இறுக்கத்திற்குச் சமமாவதால் அப்போதுள்ள அதன் சூடே கொதிநிலையாகும். இதையே கண்டு நாம் குறித்துக்கொண்டோம்.

**திரவத்தில் கரைந்துள்ள பொருள்களால் திரவத்தின் கோதிநிலை பாதிக்கப்படுவது :—** கொதிநிலையைக் காணுவதற்கான முதல் முறைப்படி கையாண்ட குழாயிலே, தூய தண்ணீரைப் பெய்து உஷ்ணநிலமானியின் குமிழை அதனுள்ளே முழுகச்செய்து, தண்ணீர் கொதிக்கும்போது, உஷ்ணநிலமானியின் வாசகத்தைக்கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது குழாயிலுள்ள தண்ணீரிலே சிறிதளவு உப்பைப் போட்டு, மறுபடியும் அதன் கொதிநிலையைக் கண்டால், இப்போது கொதிநிலை உயர்ந்திருப்பது தெரியவரும். தண்ணீரில் பின்னும் சிறிது உப்பைப் போட்டால் கொதிநிலை பின்னும் அதிகரிக்கும். எனவே ஒரு கரைநீரின் கொதிநிலை தூய திரவத்ினது கொதிநிலையைவிட உயர்ந்திருக்குமென்றும், இவ்வுயர்ச்சி, கரைநீரின்

உறைப்புக்குத் தக்கவாறு இருக்குமென்றும் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

இறுக்கமாறுபாடு கோதிநிலையைப் பாதித்தல்:— ஒரு திரவப் பரப்பின்மீதுள்ள இறுக்கம், அத்திரவத்தின் ஆவி இறுக்கத்திற்குச் சமமானபோது அத்திரவம் கொதிக்குமென்று கண்டோம். இதனால் ஒரு திரவப் பரப்பின்மீதுள்ள இறுக்கத்தைக் குறைத்து அதன் கொதிநிலையையும் குறைத்துவிடக் கூடுமென்று ஊகிக்க இடமேற்படுகிறது. இது உண்மையே என்பதை நாம் முன்னொரு அத்தியாயத்தில் தண்ணீரை 100°c-க்குக் குறைந்த சூட்டில் கொதிக்கவைத்துக் கண்டோம். நாம் இப்போது தண்ணீர் பல சூடுகளிலே கொதிக்கும்போது அதன் பரப்பின்மீதுள்ள இறுக்கங்களை அளவிட்டுக் காணும் முறையைப் பார்ப்போம். (படம் 196).




படம் 196

நீர் பெய்துள்ளதொரு கண்ணாடிக் கலயம் ஒரு குழாயினால் ஒரு காற்று-இறைவியோடு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் கலயத்தினுள்ளிருக்கும் இறுக்

கத்தை வேண்டிய அளவிற்குக் குறைத்துக்கொள்ளலாம். இந்த இறுக்கம் மா என்னும் இறுக்கமானியால் காட்டப்படும். கலயத்திலுண்டாகும் ஆவி ஆ என்னும் ஆற்றுக்கலத்தினுள் (condenser) சென்று அதைச் சூழ்ந்துவரும் குளிர்ந்த நீரால் குளிர்ச்சியடைந்து நீராகப் படிந்து, மறுபடியும் கலயத்தினுள்ளே வந்து சேரும். இதனால் வாசகங்களைக் காணும்வரை கலயத்தினுள்ளே சீரானதொரு இறுக்கத்தை நிறுவுவது சாத்தியமாகிறது. பவனஇறுக்கத்தைவிடக் குறைவான இறுக்கங்களுக்கு ஒரு இறைவியையும், அதைவிட அதிகமான இறுக்கங்களுக்கு ஒரு நிறைவியையும் கையாளவேண்டும். கலயத்தை காய்ச்சி கொதிக்கச் செய்யவும். கொதிக்கும்போதிருக்கும் சீரான சூட்டை உஷ்ணநிலைமானியில் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இறுக்கமானியில் கண்ட வாசகத்தோடு பாரமானி வாசகத்தையும் கூட்டவோ அல்லது கழிக்கவோ அந்தக் கலயத்தினுள்ள இறுக்கம் கிடைக்கும். அதையும் குறித்துக்கொள்ளவும். இந்த முறைப்படி பவன இறுக்கத்தைவிட மிகையான பல இறுக்கங்களிலும் குறைவான பல இறுக்கங்களிலும் கொதிநிலைகளைக் காணலாம். தண்ணீர் கொதிக்கும்போது அதன் மீதுள்ள இறுக்கம் அதன் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கத்திற்குச் சமமாகையால், இந்தப் பரிசோதனையால் பலவேறு சூடுகளிலே தண்ணீரின் தெவிட்டிய ஆவி-இறுக்கங்களையும் காணலாம்.

பவனத்தின் ஈரம்:—ஆறு, குளம், ஏரி, கடல் போன்ற நீர் நிலைகளிலிருந்து எப்போதும் நீர் ஆவியாகி மேலே சென்று, பிறகு மழை, பனி இவற்றின் மூலமாக பூமிக்குத் திரும்பி வருகிறது. இதனால் எப்போதும் பவனத்திலே ஓரளவு நீராவி கலந்தே இருக்கிறது. இவ்வாறு பவனத்தில் கலந்துள்ள நீராவியே பவனத்தின் ஈரம் எனப்படும். ஆனால் இது கண்ணுக்

குப் புலப்படாது. சிலபோது பவனம் குளிர்ச்சியடைந்தால், ஒரு நிலையிலே பவனத்தில் கலந்துள்ள நீராவியின் இறுக்கம், பவனத்தின் சூட்டிற்குரிய தெவிட்டிய நீராவி இறுக்கத்திற்குச் சமமாய்விடும். இதற்குக் கீழே பவனத்தின் சூடு இறங்கிவிட்டால் நீராவி இறுகி நீர்த்துளிகளாகிவிடும். இவ்வாறு குளிர்ச்சியடைந்து இறுகுதல் பவனத்தின் மேற்பாகத்திலே நிகழ்ந்தால் அவை மேகங்களாகிவிடும். இது பவனத்தடியில் தரைக்கு அருகிலே நிகழ்ந்தால் பனி எனப்படும்.

ஒப்புமை ஈரம் (Relative humidity):—ஒரே சூட்டு நிலையில் ஒரு வரையறுக்கப்பட்ட பருமையுள்ள காற்றிலே கலந்துள்ள நீராவிக்கும், தெவிட்டிய நிலையிலே அது உட்கொள்ளக்கூடிய நீராவிக்கும் உள்ள தகவு, அக்காற்றின் ஒப்புமை ஈரம் எனப்படும். இதை எப்போதும் சதவீதமாகவே கூறுவது மரபு. இதைக் காற்றின் ஈர நிலை என்று கூறுதலும் உண்டு.

பவனத்தின் ஈரநிலையை அளக்கும் அறிவியல் பகுதிக்கு 'ஈரஅளவியல்' (Hygrometry) என்று பெயர். இதற்காகக் கையாளப்படும் கருவிகளுக்கு 'ஈரமானிகள்' (Hygrometers) என்று பெயர்.

சாமானிய சூட்டுநிலைகளிலே தெவிட்டிய இறுக்கம் வரையில் நீராவி பாயில் விதியைப் பெரிதும் தழுவியே நடக்கிறது. இதனல் அதன் செறிவு இறுக்கத்திற்குப் ஏற்பதேயாகும். எனவே,

$$\text{ஒப்புமை-ஈரம்} = \frac{\text{உள்ள செறிவு}}{\text{தெவிட்டிய செறிவு}}$$

$$= \frac{\text{உள்ள இறுக்கம்}}{\text{தெவிட்டிய இறுக்கம்}} \text{ ஆகும்.}$$

காற்றினுல் நமது உடம்பிலேற்படும் வெப்பமும் சிலுசிலுப்பும் அதன் ஒப்புமை ஈரத்தைச் சார்ந்ததே

யன்றி அதிலுள்ள நீராவியின் செறிவைச் சார்ந்ததல்ல. ஈரம் குறைவாக இருந்தால் ஆவியாதல் விரைவாக நிகழ்கிறது. கோடை நாட்களிலே குளிர்நாட்களை விட காற்றில்அதிக நீராவி இருப்பினும் காற்று உலர்ந் திருப்பதாகவே தோன்றும். இதற்குக் காரணம் கோடை நாட்களில் பவனத்தின் ஒப்புமை ஈரம் குறைவாக இருப்பதுதான். குளிர்நாடுகளிலே செடிகளை வளர்ப் பதற்காகக் கட்டிவைக்கப்படும் 'வெப்பமனை' களிலே (Hot houses) அடிக்கடி ஈரநிலையை அளப்பதுண்டு. செடிகளுக்கு வேண்டிய ஈரம் கிடைக்கிறதா என்று பார்க்கவே இவ்வாறு செய்வது வழக்கம். பவனச் சோதனை நிலயங்களிலும் (Materiological Stations) முறைப்படி பவனத்தின் ஈர நிலை அளவிடப்படுகிறது. இவையே மழை, பனி, மூடுபனி போன்ற நிகழ்ச்சி களைப்பற்றி முன்னறிவிப்புப் பெறுதற்கு உதவுகின்றன.

பனி தோன்றலும்-பனிநிலையும் (Formation of dew and dewpoint):—ஒரு குளிர்ந்த பரப்பைப் பவனத்தில் வைத்தால், அதைத் தொட்டுக்கொண்டிருக் கும் காற்று குளிர்ச்சியடைகிறது. அந்த இடத்தில் காற்றிலுள்ள நீராவி இக்குளிர்ந்த நிலையிலே, காற்றைத் தெவிட்டுவதற்குப் போதியதாய் விடுகிறது. இதனால் பரப்பின் மீது ஈரம் படிகிறது. இந்த ஈரமே 'பனி' யெனப்படும். இதிலே பரப்பை நெருங்கி இருக்கும் காற்று மட்டுமே குளிர்ச்சியடைகிறது. மற்றும் அதன் இறுக்கம் சற்றும் மாறுதலடையாமலே நிற்கிறது. இவ் வாறு பனி தோன்றும்படி குளிர்ந்த சூடு 'பனிநிலை' எனப்படும். பனிநிலையின் வரைவிலக்கணம் வருமாறு:

'காற்றிலுள்ள நீராவி அதைத் தெவிட்டச்செய்ய வேண்டுமானால் காற்று எந்தச் சூட்டிற்கு இறங்க வேண்டுமோ அந்தச் சூடே பனிநிலை எனப்படும்.'

இதனால் காற்றிலுள்ள நீராவியின் இறுக்கம் பனி நிலையின் தெவிட்டிய இறுக்கத்திற்குச் சமமென்று தெரிகிறது. மற்றும் இதனால் காற்றினது ஒப்புமை ஈரமென்பது பனிநிலையின் தெவிட்டிய இறுக்கத்திற்கும் காற்றினது சூட்டின் தெவிட்டிய இறுக்கத்திற்குமுள்ள தகவே ஆகுமென்பதும் தெளிவாகிறது.

எனவே காற்றினது ஒப்புமை ஈரத்தைக் காண வேண்டுமானால், காற்றினது சூட்டையும் அப்போதுள்ள பனி நிலையையும் கண்டு குறித்துக்கொண்டு, அட்டவணைகளினுதவியால் இவ்விரண்டு சூடுகளுக்குமுரிய தெவிட்டிய இறுக்கங்களைக் கண்டு, அவற்றின் தகவைக் கணக்கிட்டுச் சதவீதம் கண்டுவிடலாம். பனி நிலைகளைக் காணும் முறைகளைப் பின்பு கூறுவோம்.

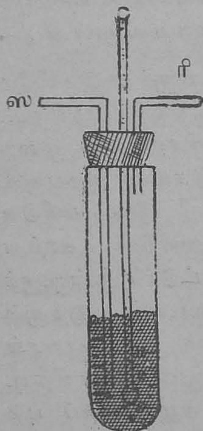
நிற்க, நாடோறும் நாம் காலை வேளையில் பசும்புல்லின் மீது காணும் பனி தோன்றும் முறை வருமாறு :—

பகல் முழுவதும் நல்ல வெப்பமாயிருந்து இரவிலே மப்பு மந்தாரம் இல்லாமல் இருந்தால், பகலில் பூமி உட்கொண்ட வெப்பமெல்லாம் இரவிலே கிரணித்தல் முறையினாலே வெளிப்படும். இவ்வாறு இரவின் முற்பகுதியிலே வெப்பமெல்லாவற்றையும் பூமி இழந்துவிடுவதால் பிற்பகுதியிலே தரை குளிர்ந்துவிடும். காற்று வீசாமல் நின்றால் தரையைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் காற்றின் பகுதியும் குளிர்ச்சியடையும். இதனால் பனி தோன்றி அது புல் நுனியிலேயும், மற்ற தாவரங்களின் இலைகள் மீதும் படியும். மற்றும் தரையினடியில் காற்று தெவிட்டிவிட்டதால், வழக்கமாகப் புல்லும் பசுந்தழைகளும் வெளியிடும் தண்ணீர் ஆவியாக முடியாமல் அவற்றின் மீதே தேங்கி நிற்கும். இந்த இரண்டு வழிகளிலும் தோன்றிப் படிந்த நீரே, அதிகாலையில் சூரியனொளியில் வைரங்கள்போல மின்னு

வதை நாம் பார்த்து மகிழ்கிறோம். இரவில் மப்பு மந்தாரமாய் இருந்தால், பூமியிலிருந்து கிரணித்து வெளிப்பட்ட வெப்பம் மேகங்களைத் தாண்டிச் செல்ல மாட்டாமல், பவனத்தினுள்ளே எங்கும் சிதறி நிற்கும். இதனல் பூமி குளிர்ச்சியடைவதில்லை. இதுவே மூட்டம் போட்டிருந்த இரவுகளுக்குப் பின்னர் காலையிலே பனி தோன்றாமைக்குக் காரணமாகும்.

பனிக்கட்டி போன்ற குளிர்ந்த பொருள்கள் வைக்கப்பட்டுள்ள கண்ணாடிக் குவளைகள் மீதும், சில பல கணிகளின் கண்ணாடித் தட்டுகள் மீதும் பனி தோன்றுவதற்கும் இதுவே காரணம்.

**ரீனேவின் ஈரமானியைக்கொண்டு பனி நிலை காண (Regnault's hygrometer):**—ரீனேவின் ஈரமானி என்பது ஒரு பெரிய சோதனைக் குழாயாகும். (படம் 197). இதனடியில் ஒரு பிரகாசமான வெள்ளிப் பூண் இட்டிருக்கும். இதன் வாய் ஒரு அடைப்பானல் மூடப்பட்டிருக்கும். இந்த அடைப்பானின் வழியாக இரண்டு கண்ணாடிக் குழாய்களும் ஒரு உஷ்ணநிலை மானியும் உட்செல்லும். இவற்றுள் ஸ என்னும் கண்ணாடிக் குழாய் அடிவரையில் சென்று, அதனுள்ளிருக்கும் ஈதர் திரவத்தினுள் முழுகி இருக்கும். ஸ என்னும் குழாயோடு ஒரு துருத்தியை இணைத்தோ அல்லது ரீ என்னும் குழாயோடு ஒரு பூரகியை (aspirator) இணைத்தோ, இக் கருவியிலுள்ள ஈதரின் வழியாக ஒரு மெல்லிய

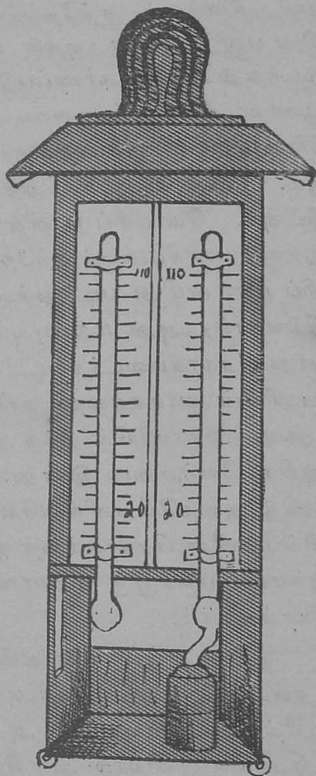


படம் 197

காற்றூருவி ஓடும்படி செய்யவேண்டும். இதனால் ஈதர் விரைவிலே ஆவியாகி அது குளிர்வதேயன்றி வெள்ளிப் பூணும் குளிர்ந்துவிடும். ஆகையால் ஈதர் ஆவியாகிக்கொண்டிருக்கும்போதே வெள்ளிப் பூணின் சூடு பனி நிலைக்குச் சற்றே கீழே போனவுடன் அதன் மீது பனி படிந்து அதன் பிரகாசம் குறைந்து மாசடைந்ததுபோலக் காணப்படும். இவ்வாறு வெள்ளிப் பூணின் பிரகாசம் குறைய ஆரம்பித்தவுடனே உஷ்ண நிலைமானியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இதன் பிறகு காற்றுச் செலுத்துவதை நிறுத்திவிடவும். வெள்ளிப் பூணில் படிப்படியாகச் சூடேறும். இச்சூடு பனிநிலைக்குச் சற்றே மேற்சென்றவுடன், வெள்ளிப் பூணின்மீது படிந்துள்ள ஈரமெல்லாம் ஆவியாகிவிடுவதால், அது மறுபடியும் பிரகாசமடையும். இவ்வாறு பிரகாசமடைந்தவுடனே, மறுபடியும் உஷ்ணநிலைமானியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். உஷ்ணநிலைமானியின் இந்த இரண்டு வாசகங்களுக்கும் அதிக வேற்றுமை இராது. இவற்றின் பொதுமை கண்டு அதையே பனிநிலையென்று கொள்ளலாம். வெள்ளிப் பூணின் பிரகாசத்தை ஒப்பிட்டறிவதற்காக ஈதர் இல்லாத மற்றொரு ஈரமானியையும் உடன்வைத்துக் கொள்ளலாம்.

இவ்வாறு பனிநிலை கண்டு அந்தச் சூட்டிற்குரிய தெவிட்டிய இறுக்கத்தை அட்டவணையிலிருந்து கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். அறையின் சூட்டை ஒரு உஷ்ணநிலைமானியால் அளவிட்டு, அந்த சூட்டிற்குரிய தெவிட்டிய இறுக்கத்தையும் அட்டவணையிலே கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். முன்னதைப் பின்னதால் வகுத்து, நூறால் பெருக்க சதவீதத்திலே பவனத்தின் ஈரநிலை கிடைக்கும்.

மேஸன் ஈரமானி (Mason's hygrometer) :— இது படத்திலே காட்டப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 198). இதிலே இரண்டு உஷ்ணநிலைமானிகள் ஒரே சட்டகத்தில் ஏற்றிவைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இடதுபுறத்தில் இருப்பது ஒரு சாமானிய உஷ்ணநிலைமானி. இது அறையின் சூட்டு நிலையைக் காட்டுகிறது. வலது புறத்திலுள்ள உஷ்ணநிலைமானியின் குமிழ் ஒரு ஈரமஸ்லினால் சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. இந்த ஈரம் போகாமல் காப்பதற்காக, இது ஒரு நூலினால் தண்ணீரைக் கொண்டுள்ளதொரு சிறு தொட்டியோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. பவனத்திலே பூரணமான ஈரம் இருந்தாலொழிய இந்த் இரண்டாவது உஷ்ணநிலைமானி முதல் உஷ்ணநிலைமானியை விடக் குறைந்த வாசகத்தையே எப்போதும் காட்டும். மஸ்லின் மீதுள்ள நீர் ஆவியாவதால் இக் குளிர்ச்சி ஏற்படுகிறது. இந்த உஷ்ணநிலைமானிகளின் வாசக வேற்றுமை, மஸ்லின் துணியிலிருந்து நீர் ஆவியாகும் வேகத்தைச் சார்ந்தது. இந்த நீர் ஆவியாகும் வேகம், பவனத்தின் சூட்டு நிலையையும்,



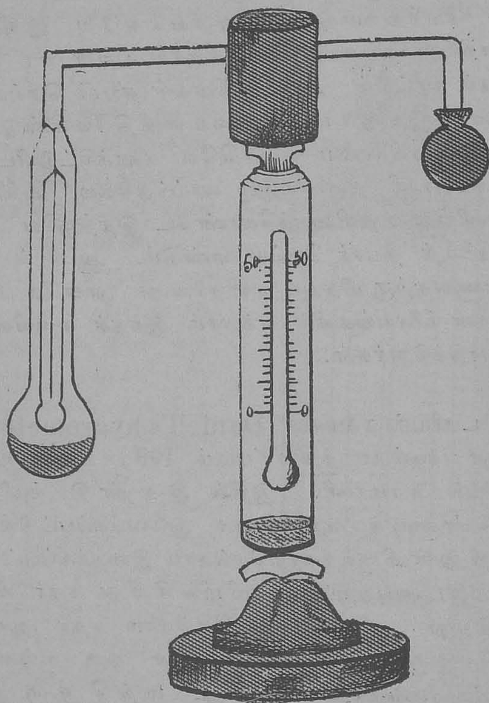
படம் 198

அதில் முன்பேயுள்ள ஈரநிலையையும் சார்ந்தது. பவனத்தில் ஈரம் குறைவாக இருந்தால் ஆவியாதல் விரைவாக நிகழும். இதனால் உஷ்ணநிலைமானிகளின் வாசக வேற்றுமையும் குறைவாகவே இருக்கும். உஷ்ணநிலைமானி வாசகங்களுக்குரிய பவன ஈர இறுக்கத்தைக் காட்டும் அட்டவணைகள் தயார் செய்யப்படுகின்றன. இதனால் பனிநிலையை எளிதிலே கண்டு, பவனத்தின் ஈரநிலையை எளிதிலே கணக்கிட்டுவிடலாம். இந்த ஈரமானி தனியியல்பு வாய்ந்ததல்ல. மற்றொரு ஈரமானியின் உதவியைக்கொண்டே இதற்குரிய அட்டவணைகளைத் தயார் செய்யவேண்டும். ஆனால் இது கையாளுவதற்கு மிகவும் எளிதானது. எனவே பவனச் சோதனை நிலையங்களில் எல்லாம் இந்தக் கருவியையே உபயோகிக்கிறார்கள்.

டேனியல் ஈரமானி (Daniell's hygrometer) :—அடுத்த பக்கம் படத்தில் (படம் 199) கண்டிருப்பது டேனியல் ஈரமானி. இதில் இரண்டு குமிழ்கள் ஒரு கண்ணாடிக் குழாயினால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றினுள்ளிருந்த காற்றெல்லாம் இறைக்கப்பட்டுவிட்டது. இடதுபுறமுள்ள குமிழில் சிறிது ஈதர் நிரம்பி இருக்கிறது. மிகுந்த இடமெல்லாம் ஈதர் ஆவியால் நிரம்பி இருக்கிறது. இதனுள்ளே ஒரு உஷ்ணநிலைமானியும் வைக்கப்பட்டுள்ளது. மற்றொரு குமிழ் மஸ்லினால் சுற்றிவைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இதைக் கையாளும் முறை வருமாறு :—மஸ்லின் மீது சிறிது ஈதரைப் பெய்யவும். இது ஆவியாவதால் குளிர்ச்சியடைந்து குமிழினுள்ளிருக்கும் ஆவி இறுகிப் படிகிறது. இதனால் மற்றொரு குமிழிலுள்ள ஈதரும் ஆவியாகிக் குளிர்ச்சியடைகிறது. குமிழின் வெளிப்புறத்தில் பனி படிந்து மங்கலாகிறது. இவ்வாறு மங்க

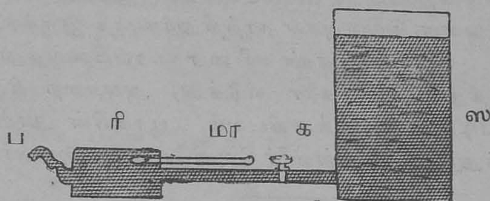
லாகும் சமயத்தில் உஷ்ணநிலைமானியின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். சற்று நேரம் பொறுத்தால்




படம் 199

குமிழ் சூடேறி அதன் மீது படிந்துள்ள பனி மாறிப் பிரகாசமடையும். பிரகாச மடைந்தவுடன் உஷ்ண நிலைமானியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இந்த இரண்டு வாசகங்களின் பொதுமையே பனி நிலையாகும். ஆனால் இந்தக் கருவி திருப்திகரமான முடிவைத் தருவதில்லை.

டைன்ஸ் ஈரமானி (Dines' hygrometer) :— (படம் 200) டைன்ஸ் ஈரமானியைக் காட்டுகிறது. ஸ என்பது ஒரு நீர்த்தேக்கம். இந்தத் தண்ணீர் பனிக் கட்டியால் குளிரச் செய்யப்பட்டிருக்கிறது. ரீ என்பது

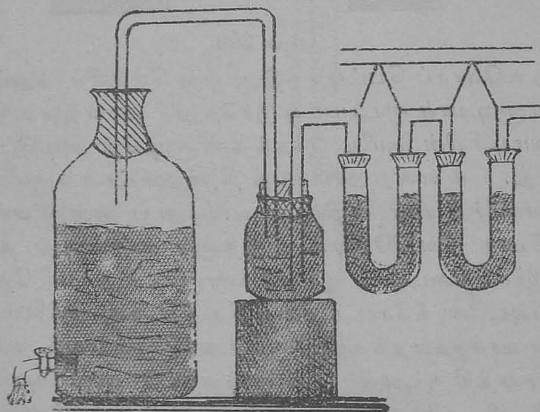



படம் 200

ஒரு உலோகப் பெட்டி. இது ஒரு மெல்லிய கறுப்புக் கண்ணுடியால் மூடப்பட்டிருக்கிறது. மா என்ற உஷ்ண நிலைமானியின் குமிழ் இந்தக் கண்ணுடியின் அடியில் நிற்கிறது. க என்ற தூம்பைத் திறந்துவிட்டால் குளிர்ந்த தண்ணீர் ரீ யின் வழியாகப் பாய்ந்து ப என்ற வாயில் வழியாக வெளியேறும். இதனுல் கண்ணுடித் தட்டு குளிர்ச்சியடையும். இந்தக் கண்ணுடி மீது பனி தோன்றியவுடனே நீரோட்டத்தை நிறுத்தி, உஷ்ணநிலைமானியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். சற்றே பொறுத்திருந்தால் கண்ணுடித்தட்டு படிப்படியாய்ச் சூடேறி அதன்மீது படிந்த பனி மறைந்துவிடும். இப்போது மறுபடியும் உஷ்ணநிலைமானியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இந்த இரண்டு வாசகங்களின் பொதுமையே பனிநிலையாகும்.

இரசாயன ஈரமானி (Chemical hygrometer) :- இது காற்றிலுள்ள ஈரத்தை நேரே அளவிட்டு அதிலிருந்து பவனத்தின் ஈரநிலையைக் காண்பதற்குரிய கருவியாகும். படத்தில் (படம் 201) கண்டபடி ஒரு பூரக் கண்ணியின் ('trap') வழியாக உலர்த்தும் குழாய்க

ளோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. உலர்த்தும் குழாய்களும் கண்ணியும் நீரொழிந்த சுதைய பாசிதை (Anhydrous Calcium Chloride)க் கட்டிகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவற்றிலே கந்தகக் காடியில் தோய்க்கப்பட்ட பஞ்சுக் கற்களை (Pumice stones) இடுவதும் உண்டு. இதிலுள்ள இணைவுகள் காற்றிறுக்கமாக இருக்கவேண்டும். பூரகியில் தண்ணீரை நிரப்பிவைத்துவிட்டு உலர்த்தும் குழாய்களை எடுத்து, அவற்றை நிறுத்து மறுபடியும் இணைத்துவிடவும். பூரகியின் தூம்பைத் திறந்துவிடவே, தண்ணீர் வெளியேறுவதால் உலர்த்தும்



படம் 201

குழாய்கள் வழியாகக் காற்று பூரகியில் சென்று நிரம்பும். சோதனை முடிந்தவுடன் வெளியேறிய தண்ணீரின் பருமையைக் கண்டு உலர்த்துங் குழாய்களை மறுபடியும் நிறுக்கவும். வெளியேறிய தண்ணீரின் பருமையாகிய V லிட்டர் என்பது உட்புகுந்த காற்றினது பருமையைக் காட்டும். உலர்த்துங் குழாய்களின் நிறைவேற்றுமையாகிய $m$ கிராம் என்பது அக்காற்றிலே கலந்திருந்த

நீரின் நிறையாகும். அறையின் சூட்டு நிலை $t°c$ என்று கொள்வோம். ரீனேவின் அட்டவணைகளினுதவியால் $t°c$ சூட்டிலே ஒரு லிட்டர் காற்றைத் தெவிட்டுதற்கு வேண்டிய ஈரத்தின் நிறையைக் காணவும். அது M கிராம் என்று கொண்டால் $t°c$ சூட்டிலே V லிட்டர் காற்றைத் தெவிட்டுவதற்கு வேண்டிய ஈரம் MV கிராம் ஆகும். ஆனால் V லிட்டர் காற்றில் தங்கியிருந்த ஈரம் $m$ கிராம்.

எனவே, பவனத்தின் ஈரநிலை

$$= \frac{m \times 100}{MV}\% \text{ ஆகும்.}$$

உதாரணம் (1) ஒரு நாளிலே பனிநிலை $15°c$ ஆகவும் காற்றின் சூடு $25·4°c$ ஆகவும் இருக்கிறது. பின் வரும் விவரங்களிலிருந்து அன்றைய ஈரநிலையைக் கணக்கிடுக.

$15°c$ சூட்டிலே தெவிட்டிய இறுக்கம்

= 12·79 மி. மீ. ரசநிரை.

$25°c$ சூட்டிலே தெவிட்டிய இறுக்கம்

= 23·76 மி. மீ. ரசநிரை.

$26°c$ சூட்டிலே தெவிட்டிய இறுக்கம்

= 25·22 மி. மீ. ரசநிரை.

$25·4°c$ சூட்டிலேயிருக்கக்கூடிய தெவிட்டிய இறுக்கம் $= 23·76 + \frac{(25·22 - 23·76)}{10}4$

= 24·34 மி. மீ. ரசநிரை.

$$\text{ஈரநிலை} = \frac{\text{பனிநிலையில் தெவிட்டிய இறுக்கம்}}{\text{பவனச்சூட்டில் தெவிட்டிய இறுக்கம்}}$$

$$= \frac{12·79}{24·34} = 52·55\%.$$

அன்றைய ஈரநிலை = 52·55%.

உதாரணம் (2) பவன இறுக்கம் 758 மி. மீ. ரச நிரை; பவனத்தின் சூடு 26·8°c; ஈரநிலை 0·5. பவன இறுக்கத்திலே எப்பகுதி ஈரத்தைச் சார்ந்தது?

26·8 சூட்டிலே தெவிட்டிய இறுக்கம் (அட்டவணைகளில் கண்டபடி) = 26·54 மி. மீ. ரசநிரை.

$$\frac{\text{அன்றைய ஆவி இறுக்கம்}}{\text{அதே சூட்டிலே தெவிட்டிய இறுக்கம்}}$$

= ஈரநிலை = 0·5

அதாவது $\frac{\text{அன்றைய ஆவி இறுக்கம்}}{26{\cdot}54} = {\cdot}5$

அல்லது அன்றைய ஆவி இறுக்கம்
= 13·27 மி. மீ.

பவன இறுக்கமோ 758 மி. மீட்டர்.

எனவே பவன இறுக்கத்திலே $\frac{13{\cdot}27}{758} = {\cdot}0175$

என்ற பின்னத்தினளவு அல்லது 1·75% பவனத்திலுள்ள நீராவியினுலேற்பட்டது.

உதாரணம் (3) தண்ணீரின் மேலே சிறிதளவு வாயு அடைப்பட்டிருக்கிறது. அந்த இடத்தின் பருமை 50·33 க. செ. மீட்டர். அங்கேயுள்ள இறுக்கம் 73·24 செ. மீட்டர். தண்ணீரின் சூடு 13°c. இவற்றைக் கொண்டு அந்த வாயு கட்டளைச் சூட்டிறுக்கங்களில் கொள்ளக்கூடிய பருமையைக் கணக்கிடுக.

அந்த இடம் நீராவியால் நிரம்பி இருக்கும்.

13°c சூட்டிலே நீராவியின் தெவிட்டிய இறுக்கம் 11·2 மி. மீட்டர். எனவே அங்குள்ள வாயுவின் இறுக்கம் மட்டும் 73·24—1·12 = 72·13 செ. மீட்டர்.

நிற்க,

$$\frac{P_1 \ V_1}{T_1} = \frac{P_2 \ V_2}{T_2}.$$

கணக்கிலே கண்ட ராசிகளை இதிலே ஈடிடவே

$$\frac{72 \cdot 12 \times 50 \cdot 33}{286} = \frac{76 \cdot 0 \times V_2}{273}.$$

அல்லது $V_2 = \frac{273 \times 72 \cdot 12 \times 50 \cdot 33}{286 \times 760}$

$= 45 \cdot 59$ க. செ. மீட்டர்.

எனவே கட்டளைச் சூட்டிறுக்கங்களிலே இவ்வாயு 45·5 க. செ. மீ. பருமைகொண்டிருக்கும்.

## வினக்கள்

1. கீழ் வருவனவற்றின் வேற்றுமைகளை எடுத்துக்கூறுக: –(1) ஆவிகளும் வாயுக்களும், (2) கொதித்தலும் ஆவியாதலும் (3) மூடுபனியும் மேகமும், (4) தெவிட்டிய இடங்களும் தெவிட்டாத இடங்களும்.

ஒரு திரவத்தின் ஆவி-இறுக்கம் அதன் சூட்டினை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது என்பதற்கும், அது மற்ற ஆவிகளின் இறுக்கத்தினுல் பாதிக்கப்படுவதில்லை என்பதற்கும் எடுத்துக் காட்டான பரிசோதனைகளைக் கண்டு விவரித்துக் கூறவும்.

(பாட்ன 1933)

2. ஒரு திரவத்தினது ஆவி இறுக்கத்தின் உச்சநிலையும் பவன இறுக்கமும் சமமாகும்படியான சூடே, அத்திரவத்தின் கொதிநிலையாகும்.

இக்கூற்றை விளக்கி இதை எவ்வாறு பரிசோதனையால் சரிபார்க்கலாமென்று எடுத்துக் கூறுக.

(ஆக்ஸ். 1933

3. தெவிட்டிய ஆவிகளின் இயல்பிற்கும் தெவிட்டாத ஆவிகளின் இயல்பிற்குமுள்ள வேற்றுமைகளைத் தெளிவாக எடுத்துக்கூறுக. 8°C சூட்டிலே தண்ணீரின் ஆவி-இறுக்கம் 8 மி. மீ. என்ற கூற்றின் பொருள் யாது?

ஒரு திரவத்தின் ஆவி இறுக்கத்தைக் காண்பதற்கான ஏதேனுமொரு முறையை விவரித்துக் கூறுக.

(காசி 1933)

4. 'ஈரநிலை', 'பனிநிலை' என்பவற்றுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. பனிநிலையை எவ்வாறு காண்பதென்று விவரித்துக் கூறுக.

ஒரு அறையின் சூடு 86°F ஆகும். அதே அறையில் அப்பொழுதே பனிநிலை 68°F. காற்றின் ஈரநிலையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை, அக். 1920)

5. 'ஈரநிலை', பனிநிலை' என்ற பதங்களுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. பனிநிலையை நேரே காணுவதற்காகக் கையாளக்கூடியதொரு கருவியின் அமைப்பையும், பிரயோக முறையையும் விவரித்துக் கூறுக.

நீராவியின் தெவிட்டிய இறுக்கம் 25°c, 26°c, 27°c, 28°c சூடுகளிலே முறையே 23·55, 24·99, 28·10, 29·78 மி. மீ. ரசநிரையாகும். 28°c சூட்டிலே ஈரநிலை 0·8 ஆக இருந்தால் பனிநிலை யாதாகுமென்று காண்க.

(சென்னை, செப். 1925)

6. ஏதேனுமொரு வகை ஈரமானியை வருணித்துக் கூறவும்.

பவன இறுக்கம் 758 மி. மீ. ரசநிரை. காற்றின் சூடு 26·8°c. ஈரநிலை ·5. பவன இறுக்கத்தின் எவ்வளவு பகுதி நீராவியினுல் ஏற்பட்டதாகுமென்று கணக்கிட்டுக் கூறுக.

(சென்னை, மார்ச். 1927)

7. 'பவனத்தின் ஈரநிலை', ஒரு திரவத்தின் 'தெவிட்டிய ஆவி-இறுக்கம்' என்ற பதங்களின் பொருள் யாவை? ஒரு திரவத்தின் 'தெவிட்டிய ஆவி-இறுக்கம் அதன் சூட்டினை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது என்ற கூற்றின் பொருள் யாது?

ஓரிடத்திலே காற்றின் சூடு 30·2°c ஆகவும் பனி நிலை 20·4°c யாகவும் இருந்தது. இவற்றைக்கொண்டு ஈரநிலையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை, செப். 1931)

8. 'பனிநிலை' என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. பனிநிலை ஈரமானியின் செயல் முறையை விளக்குக.

(சென்னை, மார்ச். 1933)

---

# அத்தியாயம் 8



## வெப்பம் பரவுதல் (Transmission of heat)

உகைத்தல் (conduction), விரவுதல் (convection), கிரணித்தல் (radiation).

ஓரிடத்திலிருந்து வெப்பம் மற்றோரிடத்திற்கு மூன்று வகைகளிலே செல்லலாம். (1) வெப்பம் தான் நிற்குமிடத்திலிருந்து அடுத்தடுத்துத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் துகள்களிலே பரவிச் செல்லுதல். இது உயர்ந்த சூட்டுநிலை கொண்ட இடத்திலிருந்து தாழ்ந்த சூட்டுநிலை கொண்ட இடங்களுக்குப் பரவும். இதனுல் வெப்பம் பரவிவரும் துகள்களிலே நமது கண்ணுக்குப் புலப்படும்படியான இயக்கமொன்றும் நிகழ்வதில்லை. இவ்வாறு வெப்பம் பரவும் முறை 'உகைத்தல்' எனப்படும். இந்த முறையினுல்தான் கட்டிப் பொருள்கள் சூடேறுகின்றன. (2) சூடுண்ட துகள்கள், சூடான இடத்திலிருந்து பெயர்ந்து குளிர்ந்த இடங்களில் சென்று பரவ, சூடு பெருத மற்றத் துண்டுகள் சூடான இடத்திற்கு வந்து, தாமும் சூடேற்று, குளிர்ந்த இடங்களுக்குப் பரவ, இவ்வாறு முறையே பொருள் முழுவதும் சூடேனதல் இரண்டாவது வகையாகும். இவ்வாறு வெப்பம் பரவும் முறை 'விரவுதல்' எனப்படும். திரவங்களும் வாயுக்களும் இவ்வாறே வெப்பமடைகின்றன. (3) வெப்பம் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்குப் பாய்ந்து செல்லுதல். இவ்வாறு செல்லும்போதுதான் செல்லும் பாதையை இவ்வெப்பம் சூடேற்றுவதில்லை. இவ்வாறு வெப்பம் பரவும் முறை 'கிரணித்தல்' எனப்படும்.

சூரியனிடமிருந்து வெளிப்பட்டுப் பிரபஞ்சமெங்கும் வெப்பம் இவ்வாறே வியாபிக்கிறது.

இந்த மூன்று முறைகளையும் ஒரு உபமானத்தால் வெகு எளிதில் விளக்கலாம். கூட்டமாக நிற்கும் மக்களுக்கு ஒருவர் பழங்களை விநியோகிக்கவேண்டியிருப்பதாகக்கொள்வோம். இதையும் மூன்று வகைகளிலே செய்யலாம். (1) விநியோகிப்பவருக்கு அருகில் நிற்கும் மக்களிடம் பழங்களை எடுத்துக்கொடுத்து, அவற்றை முறையே கைமாறும்படிசெய்து, கூட்டத்தார் ஒவ்வொருவரும் தத்தம் இடங்களிலிருந்தே பழத்தைப் பெறும்படி செய்யலாம். இது உகைத்தலைப் போன்றது. (2) கூட்டத்திலுள்ள ஒவ்வொருவரும் தாமே நேரில் விநியோகிப்பவரிடம் வந்து பழத்தைப் பெற்று மறுபடியும் கூட்டத்திற்சென்று கலந்துவிடலாம். இது விரவுதலைப் போன்றது. (3) விநியோகிப்பவர் பழங்களை எடுத்துக் கூட்டத்தார் ஒவ்வொருவரையும் நோக்கி பழத்தை மற்றவர் கையில் சிக்காமல் வீசியெறிந்து வழங்கலாம். இது கிரணித்தல் போன்றது.

## உகைத்தல்

ஒரு இரும்புக் கம்பியின் ஒரு முனையை நெருப்பிலே இட்டு, மற்றொரு முனையைக் கையில் பிடித்திருந்தால், சிறிது நேரத்தில் கம்பி வெதுவெதுப்படைந்து, பின்னர் சூடு அதிகமாகி, கடைசியில் அதைக் கையினால் பிடிக்க முடியாமல் சூடேறிவிடுவதைக் காணலாம். இதற்குக் காரணம் வெப்பம் நெருப்பிலிருந்து கம்பி வழியாக ஏறியதுதான். அதாவது வெப்பம் நெருப்பிலிருந்து கம்பி வழியாக உகைக்கப்பட்டது எனப்படும். இவ்வாறு வெப்பம் ஒரு துகளிலிருந்து அண்டைத் துகளுக்குச் செல்வதை உகைத்தல் என்பார்கள் என்று முன்பே கூறினோம். மற்றும் வெப்பம் இவ்வாறு உகைந்து செல்லும் பொருளை ‘உகைவி’ (Conductor) என்பார்கள்.

இரும்புக் கம்பியைப்போன்று வெப்பம் எளிதாக உகைந்து செல்லக்கூடிய பொருள்கள் 'சிறந்த உகைவிகள்' (good conductors) எனப்படும். வெப்பம் உகைந்து செல்லுவதற்கு எளிதாக இடங்கொடாமல் தடுக்கும் பொருள்கள் 'தகைவிகள்' (bad conductors) எனப்படும். பொதுவாக உலோகங்களெல்லாம் சிறந்த உகைவிகளேயாகும். ஆனால் சில உலோகங்கள் மற்ற உலோகங்களைவிட அதிகமாக வெப்பத்தை உகைக்கின்றன. இவ்வாறு பலவேறு பதார்த்தங்கள் பலவேறு அளவிற்கு வெப்பத்தை உகைக்கின்றன என்பதைக் காட்டும் முறை வருமாறு. மரம், கண்ணாடி, செம்பு, இரும்புபோன்ற பல பதார்த்தங்களாலான பலவேறு சட்டங்களை எடுத்து, அவற்றின் முனைகளை ஒரு குவளையிலுள்ள வெந்நீரில் முழுக்கி வைக்கவும். சிறிது நேரம் கழித்து அவற்றிலே வெளியிலிருக்கும் முனைகளைத் தொட்டுப் பார்த்தால், கண்ணாடி, மரச் சட்டங்கள் சூடே இல்லாதிருப்பதும், செம்பு, இரும்புச் சட்டங்கள் நன்ருகச் சூடேறிவிட்டதையும் காணலாம்.

மரக்கட்டையைவிட உலோகங்கள் சிறந்த உகைவிகள் என்பதை ஒரு விநோதமான பரிசோதனையாற் காட்டலாம். ஒரு சிறிய மரச் சட்டத்தின் மீது காகிதத்தை இறுக்கமாக ஒரு சுற்றுச் சுற்றி அதன் வெளிப்புறத்தை அனலிலே காட்டவும். விரைவிலே காகிதம் கருகி நெருப்புப்பற்றி எரிவதைக் காணலாம். ஒரு உலோகச் சட்டத்தை யெடுத்து அதன் மீதும் தாளைச் சுற்றி அனலிலே காட்டவும். காகிதம் கருகுவதற்குச் சற்றுநேரம் ஆவதைக் காணலாம். உலோகம் சிறந்த உகைவியாதலால் அதன் ஒரு புறத்திலே பட்ட வெப்பம் விரைவிலே அதன் மற்றப் பகுதிகளுக்கும் பரவி விடுகிறது. இதனுல் அனல்படும் இடத்தில் சூடு வேண்

டியவரை ஏறமுடியாது போய்விடுகிறது. ஆகையால் காகிதத்திலே நெருப்புப்பற்றிக்கொள்ள நெடுநேரமாகிறது. மரக்கட்டையோ தகைவியாதலால் அதன் ஒரு பகுதியிலே பட்ட வெப்பம் கட்டையின் மற்றப் பகுதிகளுக்கு எளிதிலே பரவமுடியாமல் தேங்கி நிற்கிறது. இதனால் விரைவிலே சூடு அதிகரித்து காகிதம் கருகி விடுகிறது.

வெப்ப - உகைவுப்பான்மை (Co-efficient of thermal conductivity):—ஒரு பொருளில் ஒரு புள்ளியிலே மற்றொரு புள்ளியைவிட அதிகச் சூடு இருந்தால், வெப்பம் முதற்புள்ளியிலிருந்து இரண்டாவது புள்ளிக்குச் செல்லும். அவற்றின் சூடுகள் முறையே $T_1°c$, $T°c$ என்றும், அப்புள்ளிகளினிடைத் தூரம் $d$ என்றும் கொண்டால், $\frac{T_1 - T_2}{d}$ என்னும் இராசி 'சூட்டுச் சரிவு' (temperature gradient) எனப்படும். இதை செ. மீட்டருக்கு இத்தனை பாகைகள் என்று குறிப்பிடலாம். இணையான முகங்களையும், $d$ என்ற கனத்தையும் கொண்டதொரு பலகையின் ஒரு முகம் $T_1°c$ என்ற சூட்டு நிலையிலும், மற்றொரு முகம் $T_2°c$ என்ற சூட்டு நிலையிலும் இருந்தால், அதன் முகங்களுக்குக் குறுக்கான திசையிலே, நேர்கோடுகளிலே செல்லுமொரு வெப்ப அருவி ஏற்படும். இப்போது பலகை முழுவதிலும் சூட்டுச் சரிவு சீராக $\frac{T_1 - T_2}{d}$ என்னும் அளவினதாய் இருக்கும். பலகையினுள்ளே அதன் முகங்களுக்கு இணையான A என்னுமொரு பரப்பின் வழியாகச் செல்லும் வெப்பத்தின் அளவாகிய Q என்பது, A என்னும் பரப்பிற்கும், நேரத்திற்கும், சூட்டுச் சரிவிற்கும் ஏற்பவிருக்கும். மற்றும் அது பலகை ஆக்கப்பட்டுள்ள பதார்த்தத்தின் இயல்பையும் சார்ந்திருக்கும்.

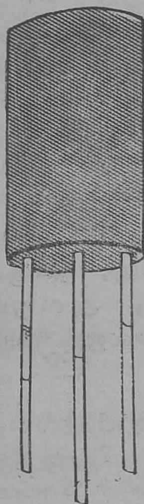
எனவே நாம்

$Q = k.\ A.\ \frac{T_1 - T_2}{d}\ t.$ என்று கூறலாம். இதில் $k$ என்பது பலகை ஆக்கப்பட்டுள்ள பதார்த்தத்தின் இயல்பைக் குறிக்கிறது. இந்தச் சமீகரணம் பதார்த்தத்தின் உகைவியல்பைக் காட்டும் $k$ என்னும் ராசியின் வரைவிலக்கணத்தைக் காட்டுவதாகக் கொள்ளலாம். இந்த ராசியை "வெப்ப-உகைவுப்பான்மை" (Coefficient of thermal conductivity) என்று கூறுவார்கள். இதன் வரைவிலக்கணம் வருமாறு :—

'வெப்ப-உகைவுப்பான்மை' என்பது, அலகுச் சூட்டுச்சரிவுகொண்ட இடத்திலேயுள்ள, அலகுப் பரப்பு வழியாக, அலகு நேரத்திலே, செல்லும் வேப்பத்தின் அளவு ஆகும்.

வெப்ப-உகைவுப் பான்மைகளை ஒப்பிடுதல் :— எட்ஸர் (Edser) என்பவரால் இயற்றப்பட்டதொரு கருவியைக்கொண்டு பலவேறு பதார்த்தங்களின் வெப்ப-உகைவுப்பான்மைகளை ஒப்பிடலாம். இது வெப்பமானியைப் போன்று செம்பு அல்லது பித்தளையால் செய்யப்பட்ட உருளை வடிவானதொரு கலமாகும். இதன் அடிப்புறத்திலே பலவேறு பதார்த்தங்களாலான மெல்லிய கம்பிச் சட்டங்கள் கீழ்நோக்கி நீட்டிக்கொண்டிருக்கும்படி பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 202). இச்சட்டங்களெல்லாம் ஒரே வெட்டுவாய் கொண்டவை. ஒவ்வொரு கம்பியைச் சூழ்ந்தும் ஒரு செப்புக் கம்பியாலான சிறு வளையம் இருக்கும். இவ்வளையம் கம்பியின் நெடுக நழுவிச் செல்லக்கூடியது. ஒவ்வொரு வளையத்திலும் ஒரு சிறு சூசிகையுண்டு. இவ்வளையங்கள் ஒவ்வொரு கம்பியின்மேல் நுனிக்கருகே ஒரே மட்டத்தில் மெழுகினுல் கம்பியோடு சேர்த்துப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இந்தக் கலத்தை ஒரு தாங்குகாலின்மீது

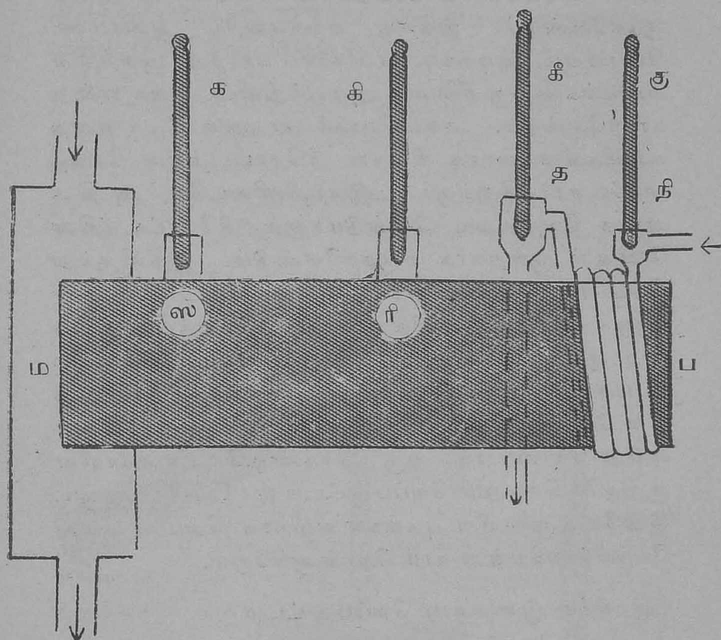
ஏற்றிவைத்து, அதனுள்ளே தண்ணீரைப் பெய்து, அதனுள்ளே ஒரு கொதிகலத்திலிருந்து (Boiler) வரும் நீராவியைச் செலுத்தவும். தண்ணீரில் சூடேறுவதால் கலமும், கம்பிகளின் அடியும் சூடேறி மெழுகு கரையும். இதனால் வளையங்கள் மெதுவாகக் கீழ்நோக்கி நழுவிவரும். சிறிது நேரமானவுடன் ஒரு ஸ்திரமான நிலை ஏற்பட்டு, வளையங்களெல்லாம் கீழ்நோக்கி நழுவுவதைவிட்டு ஒவ்வோரிடத்திலே கம்பிகளோடு ஒட்டி நின்றுவிடும். இத்தகைய நிலைமை ஏற்பட்டவுடனே, கலத்தின் அடியிலிருந்து ஒவ்வொரு கம்பியிலும் வளையங்கள் நிற்குமிடத்தின் தூரத்தை அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். இந்த தூரங்கள் முறையே $l_1$, $l_2$, $l_3$ ... என்றும், அவற்றிற்குரிய கம்பிகளின் உகைவுப் பான்மைகள் முறையே $k_1$, $k_2$, $k_3$ என்றும் கொண்டால், இவ்வுகைவுப்பான்மைகள் தூரங்களின் வர்க்கத்திற்கு ஏற்ப இருக்கும். அதாவது $k_1 : k_2 : k_3 \ldots\ldots\ldots : : l_1^2 : l_2^2 : l_3^2 \ldots\ldots$ ஆகும்.



படம் 202

ஒரு உலோகக் கம்பியின் வேப்ப-உகைவுப் பான்மை காண:—(படம் 203). இவ்வுலோகக் கம்பி தடித்த உருளை வடிவானது. இதன் ஒரு முனையைச் சூழ்ந்திருக்கும் ம என்னும் நீராவி அறையினுள்ளே நீராவியைச் செலுத்தி அந்த முனை சூடேற்றப்படுகிறது. மற்றொரு முனையைச் சூழ்ந்திருக்கும் குழாய்ச் சுருளின் வழியாகத் தண்ணீரைச் செலுத்தி, அந்த முனை குளிரச் செய்யப்படுகிறது. கம்பியின் மீதுள்ள ஸ, ரி என்ற இரண்டு புள்ளிகளிலே சூட்டு நிலைகள் க, கி என்னும்

உஷ்ணநிலைமானிகளால் அளக்கப்படுகின்றன. சுழன்று வரும் தண்ணீர் வெளியேறும் த என்ற இடத்திலே,




படம் 203

அதன் சூட்டுநிலை கீ என்ற உஷ்ணநிலைமானியாலும், அது நுழைகின்ற நி என்னும் இடத்திலே கு என்ற உஷ்ணநிலைமானியாலும் அளக்கப்படுகின்றன.

இந்தப் பரிசோதனையைச் செய்யும்போது நீராவி அறையினுள்ளே சீரானதொரு நீராவியோட்டமும், குழாய்ச் சுருளினுள்ளே சீரானதொரு நீரோட்டமும் இருக்கவேண்டும். உலோக உருளை பஞ்சு அல்லது

தூவி (felt) போன்றதொரு சிறந்த தகைவியால் சூழப்பட்டிருக்கவேண்டும். உஷ்ணநிலைமானிகளெல்லாம் நிலையான வாசகங்களைக் காட்டும் வரையிலே பொறுத்திருக்கவேண்டும். இதற்கு ஏறக்குறைய அரைமணி நேரமாகும். அடிக்கடி மானிகளைப் பார்த்து அவற்றின் வாசகங்கள் ஒரு நிலையை அடைந்துவிட்டனவா என்று காணவேண்டும். கடைசியாகக் காணும் கீ, கு என்ற மானிகளின் வாசக நிலைகள் நீரோட்டத்தின் வேகத்தைச் சார்ந்திருக்கும். இவற்றினிடையே அதிக வாசக வேற்றுமை வேண்டுமானால் நீரோட்டத்தின் வேகம் குறைவாக விருக்கவேண்டும். இதிலிருந்து வெளிவரும் தண்ணீரை ஒரு எடையிட்ட சிறு கண்ணாடிக் குவளையிலே சில செகண்டுகள் ஏந்தி, அதை மறுபடியும் எடையிட்டு வரும் எடை வேற்றுமையைக்கண்டு, அதை நேரத்தால் வகுக்க, நீரோட்டத்தின் வேகம் கிடைக்கும். இது செகண்டுக்கு $w$ கிராம் என்று கொண்டால், ஒரு செகண்டிலே உருளையின் குறுக்கே செல்லும் வெப்ப ஓட்டம் $w\,(T_3 - T_4)$ ஆகும். இதிலே உருளையின் புறங்கள் வழியாக வெப்பம் வெளியேறவில்லையென்று நாம் கொள்ளுகிறோம்.

நிற்க, முறைப்படி வெப்ப ஓட்டம்

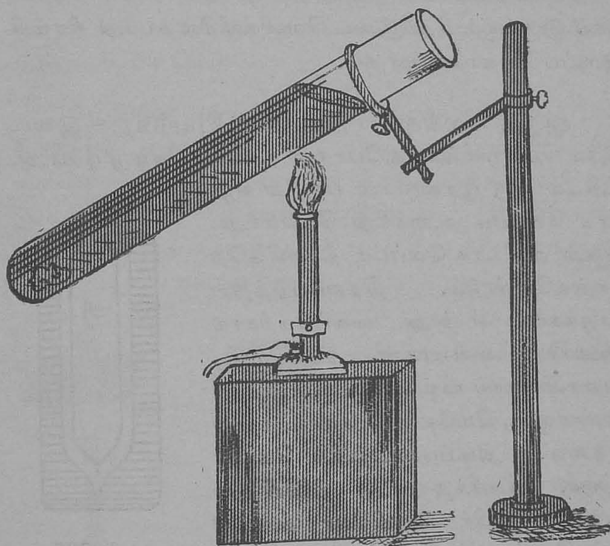
$k.A.\dfrac{T_1 - T_2}{d}$ ஆகவேண்டும். ஆகையால்

$$w\,(T_3 - T_4) = k.\,A.\,\frac{(T_1 - T_2)}{d} \text{ ஆகும்.}$$

உருளையின் விட்டத்தை வெர்னியர் காலிபரால் அளந்து $\pi r^2 = A$ என்னும் வாய்பாட்டினால் A-யின் அளவைக் கண்டுவிடலாம். ஸ, ரி என்ற புள்ளிகளினிடைத் தூரத்தை ஒரு அளவியால் அளவிட, அது $d$ ஆகும்.

எனவே, $k = \frac{w\,(T_3 - T_4)\,d}{A\,(T_1 - T_2)}$ என்னும் வாய்பாட்டிலே எல்லா இராசிகளையும் நாமறிவோம். இதிலிருந்து உலோக உருளையின் வெப்ப உகைவுப்பான்மையாகிய $k$ யை நாம் கண்டுவிடலாம்.

திரவங்களின் உகைவுப்பான்மையும் வாயுக்களின் உகைவுப்பான்மையும் :—பாதரசம் ஒன்றைத் தவிர மற்ற திரவங்களெல்லாம் நல்ல உகைவிகளல்ல. தண்ணீர் சிறந்த உகைவி அல்ல என்பதை ஒரு பிரபலமான பரிசோதனையால் காட்டுவது வழக்கம். ஒரு

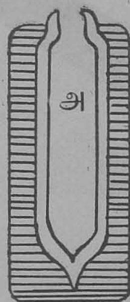


படம் 193

நீண்ட சோதனைக் குழாயை ஏறக்குறைய முக்கால் பங்கு வரை நீரால் நிரப்பி, அதனுள்ளே ஒரு சிறு பனிக்கட்

டித் துண்டைப்போட்டு, ஒரு மெல்லிய கம்பித் துடுப்பி னுதவியால் அதை நீரினுள் முழுக்கி, குழாயினடி யோடு ஒட்டித் தங்கியிருக்குமாறு பிடித்துக்கொண்டு, குழாயை ஒரு புறமாகச் சாய்த்து, ஒரு விளக்கின் சுவாலையிலே நீர் மட்டத்திற்கருகே, (படம் 204) படத் தில் கண்டபடி காய்ச்சவும். மேலேயுள்ள நீர் கொதிக் கும்போதும் அடியிலுள்ள பனிக்கட்டி கரையாதிருப் பதைக் காணலாம். வாயுக்களின் உகைவுப்-பான் மையோ திரவங்களின் உகைவுப்பான்மையைவிட மிகக் குறைவு. இறகு, கம்பளி, தூவி முதலிய பொருள்கள் சிறந்ததகைவிகளாக இருப்பதற்கு, அவற்றிலே ஏராள மாய் இருக்கும் சிறு இடை வெளிகளிலே காற்று நிரம்பி இருப்பதே காரணமாகும்.

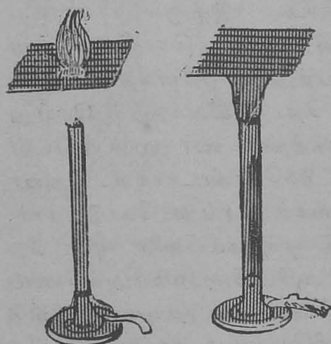
ஆறுத கலங்கள் (Thermos-Flasks):—இடை யிலே பொருளில்லாதுபோனால் உகைவு நிகழமுடியாது. எனவே ஒரு பூரணமான பாழின் வழி யாக வெப்பம் உகைந்து செல்லாது. இதன் வழியாக வெப்பம் கிரணித்தே செல்லவேண்டும். திரவப்படுத்திய வாயுக்களை ஏற்று வைப்பதற்காக 'டிவார்' என்பாரின் கலங்களும், சாமானியமாய் நாம் கையாளும் ஆறுத கலங்களும், மேலே நாம் கண்ட தத்து வத்தையே அடிப்படையாகக் கொண் டவை. உயர்ந்த சூட்டு நிலையிலோ அல்லது குளிர் நிலையிலோ வைத்தி ருக்கவேண்டிய திரவங்கள், (படம் 205) இல் கண்டவாறு இரட்டைச்சுவர் கொண்ட அ என்னும் கலத்தினுள்ளே பெய்துவைக்கப்படும். இரண்டு சுவர்களுக்கும் இடைவெளியிலுள்ள காற்று நன்றாக வெளியேற்றப்பட்டிருக்கும். மற்றும் ஒன்றை




படம் 205

யொன்று நோக்கி நிற்கும் சுவர்களின் உள் முகங்க ளிரண்டும் நன்றாக மெருகிடப்பட்டிருக்கும். நல்ல மெருகிடப்பட்ட பரப்புகளிலிருந்து வெப்பம் எளிதிலே கிரணித்தல் இல்லையென்பதை நாம் பின்னோரிடத்தில் காண்போம். இதனால் வெப்பம் கிரணித்து வெளிப்படுவதும் உட்புகுவதும் மிகக் குறைவு. பாழிடத்தில் வெப்பம் உகைந்து செல்வதும் இல்லையாகையால், இத்தகைய கலங்களிலே வெப்பம் வெளிப்படுவதும் உட்புகுவதும் மிகக் குறைவேயாகும். இந்த கலத்தைச் சூழ்ந்து வைக்கப்பட்டிருக்கும் பஞ்சு, தூவி முதலியன இக்கலம் அதிர்ச்சியால் உடைந்துவிடாமல் காக்கின்றனவேயன்றி, வெப்பத்தைத் தகைப்பதிலே அவை சிறிதும் தொழிற்படுவதில்லை.

டேவியின் விளக்கு (Davie's safety lamp) :—நிலக்கரிச் சுரங்கங்களிலே கையாளப்படும் டேவியின் கைவிளக்கிலே 'உலோகங்கள் சிறந்த உகைவிகள்' என்னும் தத்துவம் கையாளப்படுகிறது. இவ்விளக்கின் தொழில் தத்துவத்தை ஒரு சிறு பரிசோதனையால் விளக்கும் முறை வருமாறு :—


படம் 206

ஒரு செப்புக் கம்பி வலையை எரிந்துகொண்டிருக்கும் ஒரு புன்ஸன் அடுப்பு மீது வைக்கவும். (படம் 206). சுவாலை வலைக்கு மேலே வராது கீழேயே அடங்கி நிற்கும். வலை அதில் படும் வெப்பமெல்லாவற்றையும் நாற்புறமும் உகைந்து செலுத்திவிடுவதால், அதற்கு மேலே இருக்கும் கரியாவி

யைக் கீழே இருக்கும் சுவாலை பற்றவைக்க முடிவதில்லை. இதனால் சுவாலை வலைக்கு மேலே செல்ல முடியாது. கம்பி வலையைப் பின்னும் இறக்கினால் சுவாலை அணைந்து விடக்கூடும்.

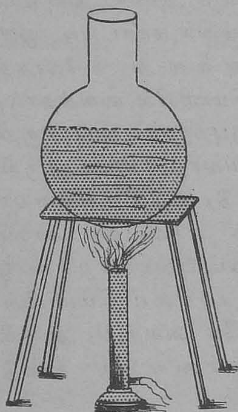
இப்போது புன்ஸன் அடுப்பின் மீது கம்பி வலையைப் பிடித்துக்கொண்டு, கரியாவியைத் திறந்துவிட்டு, வலைக்கு மேலே சுவாலையைப் பற்றவைக்கவும். சுவாலை மேலே மட்டும் எரியுமே ஒழிய, வலையின் கீழே எரியாது. மேலே எரியும் சுவாலையின் வெப்பம், கம்பிகளால் நாற்புறமும் உகைந்து செல்லப்பட்டுவிடுவதால், அது கம்பியைத் தாண்டிக் கீழே வந்து, அங்குள்ள கரியாவியைப் பற்றவைக்கமுடிவதில்லை. இந்த இரண்டு பரிசோதனைகளிலும் கம்பியின் ஒரு புறத்திலிருந்து அதன்மீது படும் வெப்பத்தை, அது உகைந்து நாற்புறமும் செலுத்திவிடுவதால், அந்த வெப்பம் மற்றொரு புறத்திற்குப் பரவமுடியாது போய்விடுகிறது.

சில நிலக்கரிச் சுரங்கங்களிலே 'மீதேன்' (Methane) என்னுமொரு கரிவாயு நிறைந்திருக்கும். காற்றோடு கலந்தபோது இது எளிதிலே தீப்பிடித்து வெடிக்கும் தன்மை வாய்ந்ததாகிறது. இதனால் சாமானிய விளக்குகளைச் சுரங்கங்களினுள்ளே கொண்டுசெல்வதால் பல முறை வெடிவிபத்துகள் நேர்ந்தன. இவ்வாறு நேராதிருக்கக்கூடிய தொரு விளக்கைச் செய்து தரவேண்டுமென ஒரு சங்கத்தார் ஸர் ஹம்ப்ரி டேவி என்னும் அறிஞரைக் கேட்டுக்கொண்டார்கள். அவர் நாம் முன்பு கூறிய விளக்கைச் செய்து கொடுத்தார். இதிலே சுவாலையைச்சுற்றி ஒரு கம்பிவலை மூடி நிற்கும். உள்ளே எவ்வளவு சூடேறினாலும் அவ்வெப்பமெல்லாம் கம்பிகளின் வழியாக நாற்புறமும் பரவிவிடுவதால், விளக்குக்கு வெளியேயுள்ள காற்றைப் பற்றவைக்க முடிவதில்லை. ஆதலின் இந்த விளக்கைச் சுரங்

கங்களினுள்ளே கொண்டுசெல்வதால் வெடி விபத்துகள் நிகழ்வதில்லை.

## விரவுதல் (Convection)

திரவங்களிலும் வாயுக்களிலும் ஏற்படும் விரவுதல் :—தண்ணீரினுள்ளே சிறிது சாயத்தூளையிட்டுக் காய்ச்சினால், தண்ணீரில் வெப்பம் எவ்வாறு பரவுகிறது என்பதை எளிதிலே கண்டுணரலாம். உருண்ட அடியைக் கொண்டதொரு கண்ணாடிக் கலயத்திலே நீரை நிரப்பி, அதிலே சிறிது சாயத்தூளை யிட்டு, அதையொரு புன்ஸன் அடுப்பிலே காய்ச்சவும். (படம் 207).

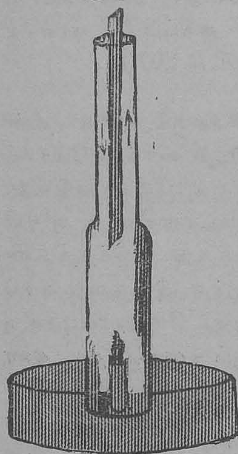


படம் 207

சுவாலைக்கருகிலுள்ள தண்ணீர் சூடேறி விரிந்து லேசாய் விடுவதால் மேலேறுகிறது. இதனால் சூடானதொரு அருவி மேலெழுகிறது. இந்தத் தண்ணீர் இருந்த இடத்தை நிரப்புவதற்காக, மேற்பரப்புக்கருகிலிருக்கும் குளிர்ந்த தண்ணீர் தனது கனத்தினாலே கீழ்நோக்கி இறங்குகிறது. இதனால் கீழ்நோக்கிவரும் ஒரு குளிர்ந்த அருவி ஏற்படுகிறது. இது சுவாலையை நெருங்கிச் சூடேறித் தானும் மேலேறுகிறது. இவ்வாறாக மேல்நோக்கி ஏறும் சூடான அருவிகளும் கீழ்நோக்கி இறங்கும் குளிர்ந்த அருவிகளும் ஏற்படுகின்றன. இவை ‘விரவல்-அருவிகள்’ (Convection currents) எனப்படும். மற்றும் இவ்வாறு சூடேறு

வதை 'விரவுதல்' என வழங்குவார்கள். வாயுக்களும் இவ்வாறே சூடேறுகின்றன. 'விரவுதல்' என்பது ஓடிகளின் துகள்கள் தமக்குள்ளேற்படும் செறிவு வேற்றுமையால் தாமே நகர்ந்து வந்து வெப்பத்தை ஏற்றுக் கொள்ளும் முறை என்று இலக்கணம் கூறலாம்.

பவனத்திலேற்படும் விரவல்-அருவிகள்:—படத்தில் (படம் 208) ஒரு மெழுகுவத்தி ஏற்றப்பட்டு, நீர் நிறைந்துள்ளதொரு தொட்டியின் மத்தியில் நிறுத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதன்மீது ஒரு 'கண்ணாடிச் சிம்னியை' வைத்தால், காற்று அடிவழியே வரமுடியாமல் மெழுகுவத்தியின் சுவாலை குன்றி அணைந்துவிடும். ஆனால் படத்தில் கண்டபடி ஒரு அட்டை அல்லது உலோகத் தகட்டை சிம்னியில் வைத்தால், அதன் இருபுறமும் அம்புக்குறிகள் காட்டியவாறு காற்று அருவிகள் ஏற்பட்டு, வத்தி அணையாமல் நன்றாக எரிவதைக் காணலாம். மற்றும் புகைகின்றதொரு நெருப்புக் குச்சியை சிம்னியின் வாய்க்கருகிலே வைத்து, அருவிகளின் திசையையும் கண்டு கொள்ளலாம்.



படம் 208

வீடுகளில் காற்றேட்டம் (Ventilation in houses):—விரவுதல் முறையினால்தான் வீடு காற்றோட்டம் ஏற்பட்டு அவை குடியிருக்கத்தக்கவையாகின்றன. மக்கள் புழுங்குவதால் வீடுகளில் இருக்கும் காற்று சூடேறுவதுமன்றி கெட்டும் விடுகிறது. இந்தக் கெட்ட காற்று மேலெழுந்து செல்ல முயல்கிறது. கூரைக்கருகே சில பலகணிகள் இருந்தால் அவற்றின்

வழியாக இக் கெட்ட காற்று வெளியேறிவிடத் தரைக்கு அருகிலிருக்கும் பலகணிகள் வழியாகக் குளிர்ந்த தூய காற்று வீடுகளினுள்ளே நுழைகிறது. இவ்வாறு காற்ளேட்டம் ஏற்படுவதால் வீட்டிலுள்ள காற்று எப்போதும் சுவாசிக்கத்தக்கதாய்த் தூய்மையாய் இருக்கிறது. இதற்காகவே நல்ல முறையிலே கட்டப்பட்ட வீடுகளில் தரைக்கருகில் பெரிய பலகணிகளும், மற்றும் கூரைக்கு அருகே சிறிய பலகணிகளும் வைக்கப் படுகின்றன.

கடற்காற்றும், நிலக்காற்றும் சூடு வேற்றுமையால் ஏற்படுகின்றன என்று முன்போரிடத்தில் கண்டோம். அவையும் இந்த விரவுதல் வகையைச் சார்ந்தனவே யாகும்.

சூறவளிகளும் புயற்காற்றும் (Cyclones and storms):—சுழன்றடிக்கும் சிறு சூறுவளிகளும் பெரிய புயற்காற்றுகளும் சூட்டு வேற்றுமையால் ஏற்பட்ட விரவல் அருவிகளேயாகும். இச் சூட்டு வேற்றுமைகள் அடிக்கடி பவனத்தின் மேற்பகுதியிலே நிகழ்கின்றன. ஒரு பலமான மேனேக்கு அருவியால் தரைக்கருகே ஒரு குறைவிறுக்க மண்டலம் உண்டாகிறது. இதைச் சூழ்ந்துள்ள மற்ற இடங்களிலிருந்து இக் குறைவிறுக்க மண்டலத்தை நோக்கிக் காற்றருவிகள் பாய்கின்றன. பூமியினது சுழற்சியால் இவ்வாறு ஓடிவரும் அருவிகள் குறைவிறுக்க மண்டலத்தை நோக்கி நேராகப் பாயாது, ஒரு சுருள் போலச் சுழன்று பாய்கின்றன. இவையே சிறிய அளவிலே 'சூற வளிகள்' எனவும், பெரிய அளவிலே புயற்காற்றுகள் எனவும் பெயர் பெறும்.

### கிரணித்தல் (radiation)

இது கதிர்ப்பு எனவும் வழங்கும். ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்கு வெப்பம் தாவிச் செல்லும்

போது, அது நடுவிலுள்ள யானத்தைச் சூடேற்ருது சென்ருல் அதன் போக்கு கிரணித்தல் எனப்படும். சூரியனிடமிருந்து சுமார் 9 கோடி மைல் தூரத்திலுள்ள நம்மை நோக்கிக் கிரண-ஆற்றல் வந்துசேர $8\frac{1}{4}$ நிமிஷ நேரம் சென்ருலும், நடுவிலுள்ள இடைவெளியை அது சூடேற்றுவதில்லே. பூமியை யடையுமுன்னே அது பல மைல்கள் வரை பவனத்தினுள்ளே ஊடுருவி வரவேண்டியிருப்பினும், பவனம் அதனுல் சூடேறுவதில்லே. பூமியிலிருந்து செல்லச் செல்ல குளிர் அதிகமாவதற்கும், இமயமலே போன்ற பெரிய மலேகளின் கொடுமுடிகள் பனியால் மூடப்பட்டிருப்பதற்கும் இதுவே காரணம். பூமி சூடேறுவதால் அதற்கருகிலுள்ள காற்றுப் படலம் மட்டுமே சூடேறுகிறது. அதற்கு மேலேயுள்ள படலங்களிலே சூடேறுவதில்லே.

வெப்பக்கிரணங்களும் ஒளிக்கிரணங்களேப் போலவே $3 \times 10^{10}$ செ. மீ. செக. என்னும் கதியுடனே செல்லுகின்றன. உண்மையில் வெப்பக் கிரணங்களும் ஒளிக்கிரணங்களும் ஒரே வகையைச் சேர்ந்தனவேயாகும். இவ்விரண்டுக்குமுள்ள வேற்றுமை அலே நீளமேயாகும்.

ஒளிக்கிரணங்களின் அலேகளேவிட வெப்பக்கிரணங்களின் அலேகள் அதிக நீளமானவை. ஒரே கதியைக் கொண்ட அலேகளிலே நீண்ட அலேகள் மெதுவாகத் துடிக்குமென்றும், குறுகிய அலேகள் வேகமாகத் துடிக்குமென்றும் பின்னேரிடத்தில் காணலாம். நிற்க, சுமார் $7 \times 10^{-5}$ செ. மீட்டருக்கும் $3 \times 10^{-5}$ செ. மீட்டருக்கும் இடைப்பட்ட அலே நீளங்களேக் கொண்டவை கண்ணுக்குப் புலப்படக்கூடியவை. இவை ஒளிக்கிரணங்கள் எனப்படும். $7 \times 10^{-5}$ செ. மீட்டருக்கு மேல் நீண்ட அலேகள் கண்ணுக்குப் புலப்படாமல் வெப்பத்தை

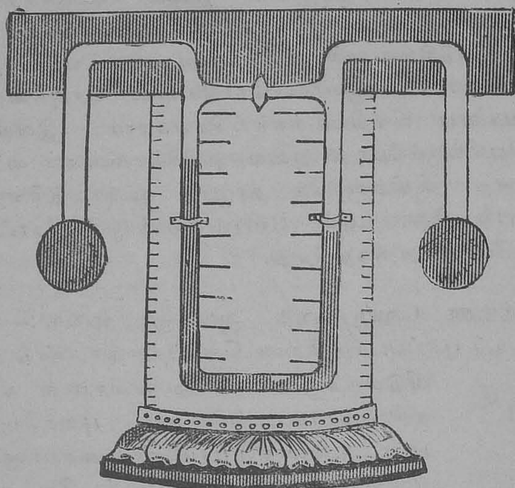
மட்டும் உண்டாக்கக்கூடியன. இவை வெப்பக்கிரணங்களாகும். இந்த வெப்பக்கிரணங்களும் ஒளிக்கிரணங்கள் உட்படுகின்ற எல்லா விதிகளுக்கும் உட்படுகின்றன. வெப்பக்கிரணங்களும் நேர்கோடுகளிலே பரவுகின்றன. அவைகளைப் பிரதிபலிக்கச் செய்யலாம். இவ்வாறு பிரதிபலிக்கும்போது அவை, ஒளிக்கிரணங்கள் கட்டுப்படுகின்ற விதிகளுக்கே தாமும் கட்டுப்படுகின்றன. வெப்பக் கோட்டமும் (Refraction) ஒளிக்கோட்டத்தைப்போன்றே நிகழ்கிறது.

கிரண வெப்பத்தை அளக்கும் முறை:—கண்ணுக்குப் புலப்படாத கிரண வெப்பத்தைக் கண்டு அளவிடுவதற்கு பல வேறு வகையான கருவிகள் கையாளப்படுகின்றன. புகையேற்றப்பட்ட உஷ்ணநிலைமானியைக் கையாளுவது மிக எளியதோர் முறையாகும். வேற்றுமை உஷ்ணநிலைமானி (differential thermoscope) என்பது கிரண வெப்பத்தை அறிய ஏற்பட்டதொரு கருவியாகும். இது படத்தில் (படம் 209) காட்டப்பட்டுள்ளது.



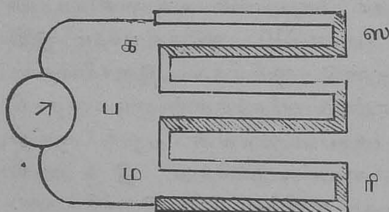
படம் 209

இதற்காகக் கையாளப்படும் மற்றொரு கருவி ஈதர் வேற்றுமை உஷ்ணநிலைமானியாகும். (படம் 210. அடுத்த பக்கம்) இதிலும் இரண்டு குமிழ்கள் இருக்கின்றன. இவையிரண்டும் வளைந்த கண்ணாடிக் குழாயினால் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு குமிழ் புகையேற்றப்பட்டிருக்கிறது. இதனுள் ஈதரும் ஈதர் ஆவியுமட்டுமே இருக்கின்றன. வெப்பக் கிரணங்கள் புகையுண்ட குமிழின்மீது விழும்போது அதன் சூடு அதிகரித்தது, அதனால் உள்ளேயிருக்கும் ஆவியிறுக்கம் அதிகரிக்கும். இதனால் திரவ



படம் 210

நீர் ஒரு புறம் அழுந்திமற்ெருரு புறம் மேலெழும். இம் மட்ட வேற்றுமையைக்கொண்டு வெப்பத்தின் உறைப்பை அளவிடலாகும்.




படம் 211

சூட்டிணைப்புக் கருவி (Thermo-couple) :— வெவ்வேறு உலோகங்களாலாகிய இரண்டு கம்பிகளின் முனைகளை இருபுறமும் இணைத்துவிட்டு ஒரு இணைப்பிலே சூடேற்றினல் இரண்டு இணைப்புகளுக்கும் உள்ள சூட்டு

வேற்றுமைக்கு ஏற்றதொரு மின்சார அருவி இந்த மண்டலத்திலே பாயும். இதுவே சூட்டிணைப்புக் கருவி எனப்படும் நுணுக்கமான சூட்டை அளக்கும் கருவியின் தத்துவமாகும். இக்கருவியும் கிரண வெப்பத்தை அளவிடுவதற்குக் கையாளப்படுகிறது. கருவியிலே அந்திமம் (Antimony), கிமிளயம் (Bismuth) என்னும் உலோகங்களால் செய்யப்பட்ட சிறு பட்டைகள் ஒன்றுவிட்டொன்று வைக்கப்பட்டு, அவையெல்லாம் (படம் 211) இல் கண்டவாறு தொடரிலே பிணைக்கப்பட்டுள்ளன.

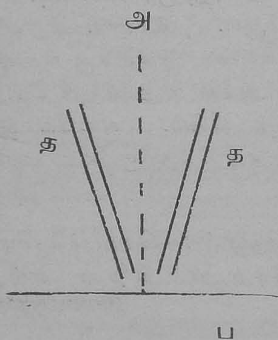
க, ம என்னும் முனைகள் ஒரு நுணுக்கமான ப என்னும் மின்னோட்டமானியோடு பிணைக்கப்படும். இந்தக் கருவியின் ஸ, ரி என்னும் ஓரங்களிலொன்றை வெப்பக்கிரணங்களின் வழியிலே வைத்து மற்றொரு புறத்தை மறைத்து வைத்தால், இந்த மண்டலத்திலே ஒரு மின்சார அருவி ஓடும். அதை மின்னோட்டமானியால் அளவிடலாம். இந்தக் கருவி, பல பட்டைகள் முறையே அடுக்கப்பெற்றும், இடையிடையே தகைப் பொருள்கள் கொடுக்கப்பெற்றும், ஒரு செங்கட்டி வடிவினதாய்ச் செய்யப்பட்டிருக்கும். கிரணங்கள் விழ வேண்டிய இணைப்புகளைக் கொண்ட முகம் கரு நிறமாக்கப்பட்டிருக்கும். இதனால் அதன் மீது விழும் வெப்பமெல்லாம் உட்கொள்ளப்பட்டு விடும். எனவே இக் கருவி வெப்பக்கிரணங்களை அளவிடுதற்கு மிக எளிய நுணுக்கமான சாதனமாகும்.

வெப்பக்கிரணங்கள் பரவுதல்:—வெப்பக்கிரணங்கள் நேர்கோடுகளிலே செல்லுகின்றன என்று காட்ட :—

தகரத்தினாலாகிய அ, ஆ, இ என்னும் மூன்று தட்டிகளிலே ஒவ்வொன்றின் மத்தியிலும் ஒரு துவாரமிடவும். இவற்றை அ, ஆ, இ என்ற வரிசையிலே

வைத்து, மூன்று துவாரங்களும் ஒரே நேர் கோட்டில் இருக்கும்படிச் சரிப்படுத்தவும். அ விலுள்ள துவாரத்திற்கு முன்புறம் நன்றாகச் சூடேறிய தொரு உலோகப் பந்தை வைத்து, இ யிலுள்ள துவாரத்தின் பின்னே ஒரு சூட்டிணைப்புக் கருவியைப் பிடித்தால், அதன் மீது வெப்பம் தாக்குவதை மின்னோட்டமானியின் விலக்கத்தால் அறியலாம். இப்போது ஆ என்னும் தட்டியை மட்டும் ஒரு புறம் சற்றே நகர்த்தி, அ, ஆ, இ யிலுள்ள துவாரங்கள் ஒரே நேர்கோட்டிலிராமல் செய்துவிட்டு, சூட்டிணைப்புக் கருவியைப் பார்த்தால், அதன் மீது வெப்பக்கிரணங்கள் விழவில்லையென்பதை மின்னோட்டமானி அசைவின்றி இருப்பதால் தெரிந்து கொள்ளலாம். இந்தப் பரிசோதனையால் வெப்பக்கிரணங்களும் ஒளிக்கிரணங்களைப்போலவே நேர்கோட்டில் செல்லுமியல்புடையன என்று தெரிந்துகொள்ளலாம்.

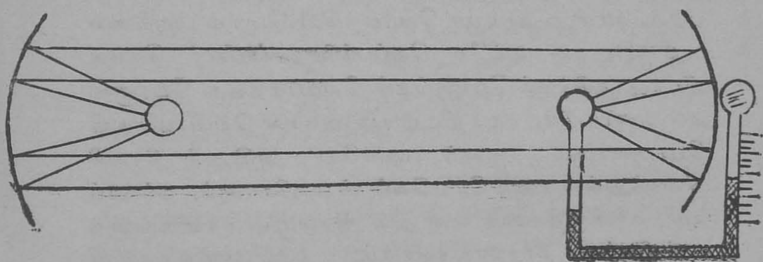
வெப்பக்கிரணங்கள் பிரதிபலித்தல்:—(1) நன்றாக மெருகிடப்பட்ட சமதளமான ப என்னும் ஒரு தகரத் தகட்டைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி வைக்கவும். (படம் 212). த, த என்ற இரண்டு தகரக் குழாய்களைப் படுக்கைவாக்கிலே முன் வைத்த தகரத் தகட்டுக்கு ஒரேயளவு சாய்ந்திருக்கும்படியாகப் படத்தில் கண்டபடி வைக்கவும். இந்த இரண்டு குழாய்களுக்கும் இடையே அ என்னும் ஒரு அட்டைத் தட்டியைப் படத்தில் கண்டவாறு நிறுத்திவைக்கவும். ஒரு குழாயின் வாயினருகிலே நன்றாகச் சூடேறியதொரு உலோகக்



படம் 212

குண்டை வைத்து, ஒரு சூட்டிணைப்புக் கருவியை மற்றொரு குழாயினது வாயினருகிலே பிடித்தால், அதன் மீது வெப்பம் தாக்குவதை மின்னோட்டமானியின் விலக்கத்தால் அறியலாம். இப்போது இரண்டாவது குழாயைச் சற்றே அதிகமாகவோ அல்லது குறைவாகவோ சாய்த்து வைத்து, அதன் வாயினருகிலே சூட்டிணைப்புக் கருவியை வைத்தால், அதன் மீது வெப்பம் தாக்கவில்லையென்பதை மின்னோட்டமானியின் அசைவின்மையால் அறியலாகும். இதனால் வெப்பக்கிரணங்களும் ஒளிக்கிரணங்களைப் போன்றே பிரதிபலன விதிகளுக்குட்படுகின்றன என்று தெரிந்துகொள்ளலாம்.

நன்றாக மெருகிடப்பட்ட இரண்டு உலோகக் குழியாடிகளை ஒரே இருசைக்கொண்டு ஒன்றையொன்று நிற்கும்படி ஏற்றி வைக்கவும். இப்போது ஒரு ஆடியின் குவியத்திலே ஒரு சூடேறிய உலோகப் பந்தையும், மற்றொரு ஆடியின் குவியத்திலே ஒரு சூட்டிணைப்புக்கருவியையோ அல்லது வேற்றுமை உஷ்ணநிலைமானியையோ வைத்தால், இக்கருவியின் மீது வெப்பம்தாக்குவதைப் பார்க்கலாம். (படம் 213). இக் கருவியை வேறு எந்த



படம் **213**

இடத்திலே வைத்தாலும் அதன்மீது வெப்பம் தாக்குவதில்லை. இந்தப் பரிசோதனையும் வெப்பக்கிரணங்கள் பிரதிபலன விதிகளுக்குட்படுவதைக் காட்டுகிறது.

வெப்பக்கிரணங்களின் கோட்டம்:—சூரியனிடமிருந்து வரும் ஒளியோடு வெப்பமும் கலந்தே வருகிறது. ஒரு குவி வில்லையை (convex lens) சூரிய ஒளியிலே பிடித்தால் ஒளியெல்லாம் அதன் பிரதான குவியத்திலே (principal focus) வந்துசேரும். இவ்வாறு குவிந்த ஒளியை ஒரு தாளின் மீதுபடும்படி செய்தால் சிறிது நேரத்தில் அந்தத் தாளிலே ஒளிபட்ட இடம் கருகிப் பற்றி எரிவதைப் பார்க்கலாம். இதனால் வெப்பக்கிரணங்களும் அங்கே வந்து குவிகின்றன என்று நாம் தெரிந்து கொள்ளலாம். எனவே வெப்பக் கிரணங்களும் ஒளிக்கிரணங்களைப் போலவே, ஒரு வில்லையிலே கோட்டமடைந்து குவிகின்றன என்று தெரிந்துகொள்ளுகிறோம்.

வெப்பத்தேளி பொருள்களும் வெப்பத்தகை பொருள்களும். (Diathermanous and Adiathermanous Substances.):—பல வேறு பதார்த்தங்கள் பலவேறு அளவாக வெப்பகிரணங்களைத் தம்முட்புக விடுகின்றன. வெப்பக்கிரணங்களைத் தம்முள்ளே புக விடும் பதார்த்தங்கள் வெப்பத்தெளி பொருள்கள் எனப்படும். தம்மீது தாக்கும் வெப்பத்தின் பெரும் பகுதியை உறிஞ்சி, தம் வழியே வெப்பக்கிரணங்களைச் செல்ல விடாது தடுக்கும் பொருள்கள் வெப்பத்தகை பொருள்கள் எனப்படும். பாழிடம் பூரணமான வெப்பத்தெளி பொருளாகும். ஆனால் பவனமோ, அதிலும் நீராவி நிறைந்துள்ள பவனமோ வெப்பம் பருகியாகும். கல்லுப்பும், கரியிருதீயதை என்னும் திரவமும் தெளிவிகளுக்குச் சிறந்த உதாரணங்களாகும். நல்ல ஒளித்தெளிவிகளான கண்ணாடி, படிக்காரக் கரை நீர் (Alum Solution) முதலியன வெப்பக்கிரணங்களை முற்றிலும் தடுத்து விடுகின்றன. ஒரு பொருளின் வெப்பத்தெளிவியல்பு அதன் கனத்தோடு குறைவதாகத் தெரிகிறது. மற்றும்

பலவேறு பொருள்களின் வெப்பத்தெளிவியல்புகளை ஒப்பிடவேண்டுமானால், அப் பலவேறு பொருள்களாலான ஒரே கனமுள்ள பல பலகைகளின் மீது வெப்பக் கிரணங்களை வீசச்செய்து, அவை ஒவ்வொன்றிலிருந்தும் வெளிப்பட்டு வரும் கிரணங்களின் சதவீதத்தைக் காணவேண்டும்.

வெப்பக்கிரணங்களை வெளியிடுமொரு ஊற்றுக்கண் (Source)ணிலிருந்து சுமார் 50 செ. மீட்டர் தூரத்திலே ஒரு சூட்டிணைப்புக் கருவியை வைக்கவும். இவற்றினிடையே துவாரமிடப்பட்டதொரு தட்டியை நிறுத்தவும். ஊற்றுக்கண்ணும் தட்டியிலுள்ள துவாரமும், சூட்டிணைப்புக் கருவியின் முகமும் ஒரே நேர்கோட்டிலிருக்கவேண்டும். வெப்பத் தெளிவியல்புகளை ஒப்பிடவேண்டிய பலவேறு பதார்த்தங்களாலான ஒரே கனமுள்ள பல பலகைகளை எடுத்துக்கொள்ளவும். இப்போது சூட்டிணைப்புக் கருவியின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். ஒரு பலகையை எடுத்துத் தாங்குகாலினுதவியால் தட்டியிலுள்ள துவாரத்தை முழுவதும் மூடுமாறு பிடித்து, மின்னோட்டமானியின் வாசகத்தைக் காணவும். அது முன்னிலும் சற்று குறைந்திருக்கும். முன்னைய வாசகத்திற்கும் இப்பொழுதுள்ள வாசகத்திற்கும் உள்ள தகவைக் கண்டு சதவீதத்தைக் கணக்கிடவும். இவ்வாறே ஒவ்வொரு பலகையையும் இட்டு, அவ்வவற்றிற்குரிய சதவீதங்களைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளவும்.

இவ்வாறாகப் பழுக்கக் காய்ந்த பிளாடினத்தை ஊற்றுக்கண்ணாகக் கொண்டு கண்ட பலவேறு பதார்த்தங்களின் வெப்பத்தெளிவியல்புகள் வருமாறு:

இந்துப்பு (Rocksalt) 92·3%

வாரியப்பளிங்கம் (Flourspar) 69%

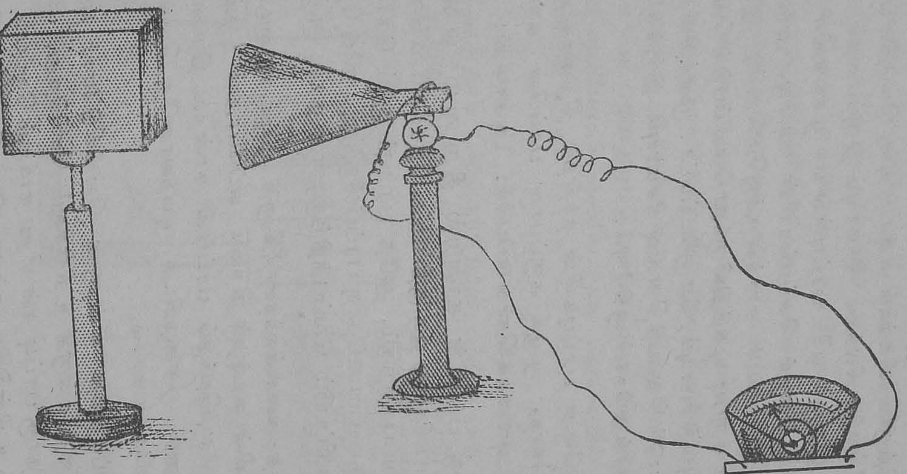
படிக்காரம் 2%

ஐஸ்லாந்துப் பளிங்கு 28%

கண்ணாடி 24%

கான்றல் திறமையும் உறிஞ்சு திறமையும் (Emissive and Absorptive Powers) :—சூடேறிய தொரு பொருளிலிருந்து வெப்பம் கிரணித்து வெளிச் செல்லும் வேகம் (1) சூடேறிய பொருளுக்கும் சுற்றிடத்திற்கும் உள்ள சூட்டு வேற்றுமையையும், (2) சூடேறிய பொருளினது மேற்பரப்பின் இயல்பையும் சார்ந்திருக்கிறது. கீழ்க்கண்ட பரிசோதனை, கிரணித்து வெளிப் படும் வெப்பத்தினளவு எவ்வாறு பரப்பின் இயல்பினால் பாதிக்கப்படுகிறது என்பதைக் காட்டும்.

படத்தில் (படம் 214) கண்டுள்ள லெஸ்லியின் பெட்டி (Leslie's cube) எனப்படும் செங்கட்டி வடிவானதொரு உலோகத் தகட்டுப் பெட்டியை, அதற்குரிய தாங்குகாலின்மீது ஏற்றிவைக்கவும். இதன் ஒரு முகம் புகையேற்றப்பட்டது. மற்றொரு முகம் வெள்ளை வர்ணம் பூசப்பட்டுள்ளது. மூன்றாவது முகம் மெருகிடப்பட்டும், நான்காவது முகம் சொர சொரப்பாயும் இருக்கும். இதன் மேல் முகமாகவுள்ள மூடியைத் திறந்து அதனுள்ளே வெந்நீரை வார்க்கவும். ஒரு சூட்டிணைப்புக் கருவியைப் புகையுண்ட முகத்தின் எதிரே சிறிது தூரத்தில் ஏற்றி வைத்து, மின்னோட்ட மானியிலுண்டாகும் விலக்கத்தைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இப்போது பெட்டியைத் திருப்பி, மற்றொரு முகம் சூட்டிணைப்புக் கருவிக்கு எதிரே வரும்படி வைத்து, மறுபடியும் மானியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இவ்வாறே மற்றிரு முகங்களையும் சூட்டிணைப்புக் கருவிக்கு எதிரே வரும் படி திருப்பி, அவ்வவற்றிற்குரிய மானியின் விலக்கங்



படம் 214

களைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். புகையுண்ட முகத்திற்குரிய விலக்கம் உச்சமாயும், மெருகிடப்பட்ட முகத்திற்குரிய விலக்கம் நீசமாயும் இருப்பதைக் காணலாம். இதனால் ஒரே பரப்புள்ள பல முகங்களிலிருந்து வெளிப்பட்டுவரும் வெப்பங்களின் அளவு, அம்முகங்களின் இயல்பைச் சார்ந்திருக்குமென்றும், இவற்றினுள்ளே கருப்பு முகத்திலிருந்து வெளிப்படும் வெப்பத்தினளவு உச்சமாயும், மெருகிடப்பட்ட முகத்திலிருந்து வெளிப்படும் வெப்பத்தினளவு நீசமாயும் இருக்குமென்றும் தெரிந்துகொள்ளுகிறோம்.

பலவேறு பரப்புகளின் கான்றல் திறமைகளை ஒப்பிடுவதற்காக, முழுக் கருப்பான பரப்பின் கான்றல் திறமை அலகாகக் கொள்ளப்படும். அதாவது:

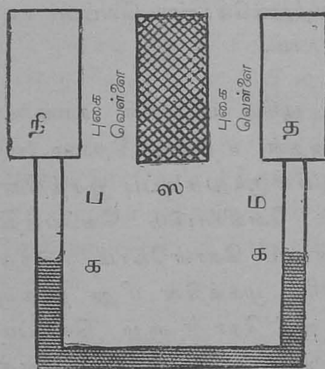
'ஒரு பரப்பின் கான்றல் திறமை என்பது, அப்பரப்பிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திலே வெளிப்படும் வெப்பத்திற்கும், அதே பரப்பும் சூடும் கொண்ட முழக் கருமையானதொரு பரப்பிலிருந்து, அதே நேரத்தில் வெளிப்படும் வெப்பத்திற்குமுள்ள தகவு ஆகும்'.

இந்த வரைவிலக்கணத்தினால் முழுக் கருமையான பரப்புகளின் கான்றல் திறமை எப்போதும் 'ஒன்று' என்றும், மற்றெந்தப் பரப்பின் கான்றல் திறமையும் எப்போதும் ஒன்றைவிடக் குறைவானதே யென்றும் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

வெப்பத்தை நன்றாக வெளியிடுமோர் பரப்பு வெப்பத்தை நன்றாக உறிஞ்சவும் செய்கிறது. புகையுண்டதொரு பரப்பு தன் மீது தாக்கும் வெப்பம் முழுவதையும் உறிஞ்சிவிட, நன்றாக மெருகிடப்பட்டதொரு பரப்பு தன் மீது தாக்கும் வெப்பம் முழுவதையும் பிரதிபலித்துவிடுகிறது. ஒரு ஊற்றுக்கண்ணிலிருந்து வரும் வெப்பக்கிரணங்களை ஏற்றுக்கொள்ளும் ஒரு

சூட்டிணைப்புக் கருவியின் முகத்தின் மீது பலவேறு வர்ணங்களை முறையே பூசி, அவ்வப்போதும் அதிலுள்ள மின்னேட்டமானியின் விலக்கத்தைக் கண்டு, அப் பலவேறு வர்ணங்களும் பலவேறு அளவில் வெப்பத்தை உறிஞ்சுவிடுகின்றன என்பதைக் காணலாம். மற்றும் சூட்டிணைப்புக் கருவியின் முகத்தின் மீது கருப்பு வர்ணம் பூசப்பட்டபோதே மின்னேட்டமானியின் விலக்கம் உச்சநிலையில் இருந்தது என்பதையும் காணலாம். இதனல் கருப்பு நிறமுள்ள பரப்பே அதிக வெப்பத்தையுட்கொள்ளுகிறது என்று தெரிந்து கொள்ளுகிறோம். எனவே ஒரு பரப்பின் 'உறிஞ்சு திறமை' என்பது

'அப் பரப்பு ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திலே உறிஞ்சியுட்கோள்ளும் வேப்பத்திற்கும், அதே பரப்புள்ளதோரு முழுக் கருப்பான பரப்பு, அதே நிலையிலே, அதே நேரத்தில் உறிஞ்சியுட்கோள்ளும் வேப்பத்திற்குமுள்ள தகவு ஆகும்' என்று வரை விலக்கணம் கூறலாம். முழுக் கருப்பான பரப்பின் உறிஞ்சு திறமை ஒன்று என்றும், மற்றப் பரப்புகளின் உறிஞ்சு திறமை இதைவிடக் குறைந்தது என்றும் கூறுதல் மிகை.




படம் **215**

ஒரு பரப்பின் கான்றல் திறமையும் உறிஞ்சு திறமையும் சமமேன்பது:—(படம் 215). ஸ யென்னும் லெஸ்லிப் பெட்டியின் ஒரு முகத்திலே புகையேற்றி

மற்றொரு முகத்திலே வெள்ளை வர்ணத்தைத் தடவவும். இதை ஒரு வேற்றுமைக் காற்று உஷ்ணநிலைமானியின் நி, த என்னுமிரு குமிழிகளினிடையே சம தூரத்தில் அவற்றோடு சமமான மட்டத்தில் நிற்கும்படி ஏற்றி வைக்கவும். நி, த என்ற இரண்டு குமிழ்களும் செங் கட்டி வடிவான இரண்டு பித்தளைப் பெட்டிகளாகும். நி-யின் உள்முகம் புகையேற்றப்பட்டும், த-வின் உள் முகம் வெள்ளை வர்ணம் பூசப்பட்டு மிருக்கவேண்டும். லெஸ்லிப் பெட்டியிலே வெந்நீரை வார்த்து அதைத் திருப்பிப் புகையேற்றிய முகம் த-வை நோக்கியும், வெள்ளை வர்ணம் பூசப்பட்ட முகம் நி-யை நோக்கியும் இருக்குமாறு செய்யவும். இப்போது உஷ்ணநிலைமானி யின் இரு கிளைகளிலும் நீர்மட்டம் சமமாகவே இருக்கும். லெஸ்லிப் பெட்டியிலிருந்து வந்து தாக்கும் வெப்பக் கிரணங்கள், குமிழிகளுக்குள்ளிருக்கும் காற்றைச் சூடேற்ற, அவற்றின் இறுக்கம் சமமாக விருப்பதால் இவ்விரண்டு குமிழ்களும் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பம் சம அளவின வென்று தெளியலாம்.

வெள்ளை வர்ணம் பூசிய பரப்பின் கான்றல் திறமை ($e$) என்றும், அதன் உறிஞ்சு திறமை ($a$) என்றும், லெஸ்லிப் பெட்டியிலிருந்து கருப்பு முகத்தின் வழியாக ஒரு செகண்டில் வெளிப்படும் வெப்பத்தி னளவு ($Q$) அலகுகளென்றும் கொள்வோம். இந்த வெப்பம் த-வின் வெண்ணிற முகத்தின் மீது தாக்கு கிறது. எனவே அது உட்கொள்ளும் வெப்பம் செகண்டுக்கு ($Q \times e$) அலகுகள் ஆகும். இவையனைத் தும் நி என்ற குமிழின் புகையுண்ட முகத்தின் மீது விழுகிறது. அது தன் மீது தாக்கும் வெப்பம் அனைத் தையும் உறிஞ்சுமியல்பு வாய்ந்தது. எனவே நி உட் கொள்ளும் வெப்பம் செகண்டுக்கு ($Q \times a$) அலகுகள்.

நி-யும் த-வும் உட்கொள்ளும் வெப்பம் சம அளவின தென்று பரிசோதனையால் கண்டோம். எனவே,

$$Q \times a = Q \times e$$ ஆகும் அல்லது $a = e$ ஆகும்.

இதனால் ஒரு பரப்பின் கான்றல் திறமையும் அதன் உறிஞ்சு திறமையும் சமமென்றுகிறது.

குளிர்தல் விதி. (Law of cooling):—சாமானிய சூட்டைக்கொண்ட பொருள்களைவிட உயர்ந்த சூடு கொண்ட பொருள்கள் அதிகமாக வெப்பத்தை வெளி யிடுகின்றன வென்பதை நாம் அன்றாட வாழ்க்கையில் காணலாம். மற்றும் ஒரு பொருளிலிருந்து வெளிப்படும் வெப்பம், அதன் சூட்டிற்கும் அதைச் சூழ்ந்திருக்கு மிடத்தின் சூட்டிற்குமுள்ள வேற்றுமையைச் சார்ந்த தென்பதையும் நாம் அறியலாம். ஒரு உலோகப்பந்து $50^{\circ}c$ யிலிருந்து $40^{\circ}c$க்கு இறங்குவதைவிட மிகக் குறைந்த நேரத்திலே பழுக்கக் காய்ந்திருக்கும்போது $10^{\circ}c$ தூரம் இறங்கிவிடும். இவ்வாறு குளிரும் வேகம் பொருளினது பரப்பின் இயல்பையும் சார்ந்ததே யாகும். சில பரிசோதனைகளைக் கொண்டு நியூட்டன் என்னும் பேரறிஞர் 'ஒரு பொருள் ஒரு செகண்டிலே வெளியிடும் வெப்பத்தினளவு, அப் பொருளின் சூட்டிற் கும் அதைச் சூழ்ந்திருக்கும் இடத்தின் சூட்டிற்குழுள்ள வேற்றுமைக்கு ஏற்பவுள்ளது என்று எடுத்துக் கூறினர்'.

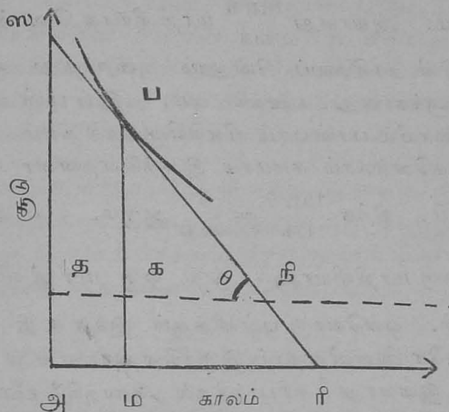
உதாரணமாக அறையின் சூடு $30^{\circ}c$ ஆக விருக்கும் போது $35^{\circ}c$ சூடு கொண்ட நீர் நிரம்பியுள்ளதொரு வெப்பமானி நிமிஷத்திற்கு மூன்று கனலி வீதம் வெப் பத்தை வெளியிடுமானல், அதே வெப்பமானியின் தண் ணீர் $40^{\circ}c$ சூடு கொண்டதானல், நிமிஷத்திற்கு 6 கனலி வீதம் வெப்பத்தை வெளியிடவேண்டும். முன்பு வெப்ப

மானிக்கும் அதைச் சூழ்ந்துள்ள அறைக்கும் உள்ள சூட்டுவேற்றுமை 5°c ஆக விருக்க, பின்பு அதன் இரு மடங்காகிய 10°c ஆகி விட்டதால், அது வெளியிட வேண்டிய வெப்பமும் நியூட்டன் விதிப்படி இருமடங்காகவேண்டும். இந்த விதியே 'நியூட்டன் குளிர்தல் விதி' என வழங்கும். பின்னும் திருத்தமான பரிசோதனைகள் செய்ததில், இவ்விதி சூட்டு வேற்றுமைகள் குறைவாக இருக்கும்போது மட்டுமே செல்லத்தக்கது என்று கண்டார்கள். நியூட்டன் குளிர்தல் விதியை எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு :—

'ஒரு பொருள் குளிரும் வேகம், அதன் சூட்டிற்கும் அதைச் சூழ்ந்துள்ள இடத்தின் சூட்டிற்குமுள்ள வேற்றுமைக்கு ஏற்பவுள்ளது.

நியூட்டன் குளிர்தல் விதியை சரிப்பார்த்தல் :— ஒரு பெரிய வெப்பமானியினுள்ளே அதை எவ்விடத்திலும் தொடாதபடி மற்றொரு சிறிய வெப்பமானியை ஒரு மெல்லிய சரட்டினல் கட்டித் தொங்கவிடவும். சிறிய வெப்பமானியை 80°c சூடு கொண்ட வெந்நீரால் நிரப்பிவிட்டு, ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தையும், ஒரு நுணுக்கமான உஷ்ணநிலைமானியையும் கொண்டு, ஒவ்வொரு 30 செகண்டுகளின் முடிவிலும் வெந்நீரின் சூட்டைக் கண்டு குறித்துக்கொண்டே வரவும். அறையின் சூட்டிற்கு மேலே 10° க்கு வந்த பிறகு இதை நிறுத்திவிட்டு, காலத்தைப் படுகை ஆயமாகவும், சூட்டை நிலைவை ஆயமாகவும் கொண்ட ஒரு உருவகத்தை வரையவும். இந்த வரை ஒரு வளைவு கோடாக விருக்கும். (படம் 216). இதன் சரிவு முதலில் அதிகமாகவும் வரவரக் குறைந்துமிருக்கும். அறையின் சூட்டைக் காட்டுவதற்கு ஒரு படுக்கை கோட்டை வரையவும்.

இந்த உருவகத்திலே இருக்கும் ப என்னுமொரு புள்ளியின் ஆயமாகிய சூட்டிலே குளிர்தல் வேகத்தைக்




படம் 216

காணவேண்டுமானால், ப என்ற புள்ளியிலே இவ்வளவு கோட்டிற்கு ஒரு தொடு வரை (Tangent) வரையவும். இத்தொடு வரையை ப என்ற புள்ளியிலே வளைவு கோட்டின் போக்கைக் காட்டுமாறு மிகக் கவனமாக வரையவேண்டும். இத்தொடு வரை, சூட்டு இருசை ஸ என்ற இடத்திலும், அறையின் சூட்டைக் காட்டும் படுகைக் கோட்டை நி என்ற விடத்திலும் குறுக்கிடுவதாகக் கொள்வோம். சூடு மாறுபடும் வேகம் இக் கோட்டின் சரிவுக்குச் சமமாகும். அதாவது அது ஸ நி த அல்லது $\theta$ என்னும் கோணத்தின் tan-க்குச் சமமாகும். இது $\frac{\text{ஸத}}{\text{நித}}$ ஆகும். அறையின் சூட்டிற்கும் பொருளின் சூட்டிற்குமுள்ள வேற்றுமையை பக காட்டும். எனவே, ஸத, நித, பக என்பவற்றை அளவிட்டுக்கொள்ளவும்.

நியூட்டன் விதிப்படி குளிர்தல் வேகமாகிய $\tan \theta$, சூட்டு வேற்றுமையாகிய பக-வுக்கு ஏற்ப இருக்க வேண்டும். அதாவது $\frac{\tan \theta}{\text{பக}}$ மாறிலியாக வேண்டும். இம்மாறிலி ராசியைப் பின்னும் குறைந்தது மூன்று புள்ளிகளுக்காவது கணக்கிடவும். இப்புள்ளிகள் கூடியவரையில் பரஸ்பரம் விலகியிருத்தல் நலம். இவற்றின் ஈவுகளெல்லாம் சமமாக இருக்கின்றனவா என்று பார்க்கவும். நிற்க $\frac{\tan \theta}{\text{பக}} = \frac{1}{\text{கநி}}$ ஆகும். எனவே $\frac{\tan \theta}{\text{பக}}$ ஒரு மாறிலியானல், கநி ஒரு மாறிலியாக வேண்டும். ஒவ்வொரு புள்ளிக்கும் இந்த கநி என்ற அளவு ஒரே அளவினதாய் இருக்கின்றதா என்று பார்க்கவும். இவ்வாறு சரிபார்த்தல் கணக்கிடுதலைவிடச் சிறந்த எளிய முறையாகும்.

குளிர்தல் முறையினல் ஒரு திரவத்தின் வெப்ப-உரிமை காணல் :—ஒரு சிறு வெப்பமானியை மற்றெரு பெரிய வெப்பமானியினுள்ளே வைத்து, அதிலே நன்ருகச் சூடேறியதொரு திரவத்தைப் பெய்து, ஒரு உஷ்ண நிலைமானியையும் இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடிகாரத்தையும் கொண்டு, அத்திரவத்தின் குளிர்தல் வரையை எளிதிலே வரைந்துவிடலாம். இப்போது திரவத்திற்குப் பதிலாகத் தண்ணீரை அதே நிலையில் வைத்து அதன் குளிர்தல்-வரையையும் வரைந்து கொள்ளலாம்.

இவையிரண்டிலும் ஒரே சூட்டு இடைவெளியை எடுத்துக்கொண்டால், அவற்றின் பொதுமை வெப்ப-இழப்புச் சமமாக விருக்கும். ஆனல் அவற்றின் பொதுமைச் சூட்டு-இழப்பு சமமாக இராது. இந்த சூட்டு இழப்புகளை நாம் வரைகளின் சரிவுகளைக்கொண்டு அளவிட்டு விடலாம். இதனல் இவை யிரண்டும்

வெப்பம் இழந்த வேகங்களைக் கண்டு, அவற்றைச் சமீகரணித்து விடலாம். இச்சமீகரணத்தினுதவியால் திரவத்தின் ‘வெப்ப-உரிமை’ யைக் காணலாகும். M என்பது திரவத்தின் நிறையென்றும், S என்பது அதன் வெப்ப-உரிமை யென்றும் கொள்வோம். மற்றும் W என்பது தண்ணீரின் நிறையென்றும், $w$ என்பது வெப்பமானியின் நீர்ஒப்புமை யென்றும் கொள்வோம்.

நிற்க, $\theta_1$ என்ற சூட்டிலிருந்து $\theta_2$ என்ற சூட்டிற்கு இறங்குவதற்குத் திரவத்திற்கு $t_1$ என்ற நேரமும், தண்ணீருக்கு $t_2$ என்ற நேரமும் சென்றதாகக் கொண்டால், திரவத்தின் பொதுமை வெப்ப-இழப்பு

செகண்டுக்கு $\frac{(MS + w)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1}$ ஆகும்.

தண்ணீரின் பொதுமை வெப்ப இழப்பு

செகண்டுக்கு $\frac{(W + w)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2}$ ஆகும்.

நியூட்டன் விதிப்படி இவை சமமாகவேண்டும்.

அதனால் $\frac{MS + w}{t_1} = \frac{W + w}{t_2}$ ஆகும்.

இதிலிருந்து திரவத்தின் வெப்ப-உரிமையாகிய S எளிதிலே காணப்படும்.

பரிசோதனை :—நன்றாகக் கருப்பு வர்ணம் பூசப்பட்டு மூடியுடன் கூடியதொரு சிறு செப்பு வெப்பமானியை நிறுத்து, அதை மெல்லிய சரடுகளால் மற்றொரு பெரிய செப்பு வெப்பமானியினுள்ளே அதை எவ்விடத்திலும் தீண்டாதபடித் தொங்கவிடவும். வெப்ப-உரிமை காணவேண்டிய திரவத்தை வேறொரு கலத்திலே சுமார் 90°c வரை வெப்பமேற்றி, அத்திரவத்

தைச் சிறு வெப்பமானியினுள்ளே பெய்து, அதை ஒரு செ. மீட்டர் இடம் மட்டும் மேலேவிட்டு விட்டு நிரப்பி விடவும். மூடியால் மூடிவிட்டு அதிலுள்ளதொரு துவாரத்தின் வழியாக, ஒரு நுணுக்கமான உஷ்ணநிலை மானியைச் செருகி, ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்தும் கடியாரத்தினுதவியால் அரை நிமிஷத்திற்கொரு முறை அதன் சூட்டைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். அதன் சூடு அறையின் சூட்டிற்கு மேலே 10° அளவிற்கு வரும் வரை இவ்வாறு செய்து பின்னர் நிறுத்திவிடவும். நன்ருக ஆறிய பிறகு வெப்பமானியைத் திரவத்துடன் எடையிட்டு, அதன் திரவத்தின் நிறையாகிய M-ஐக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது திரவத்தைக் கொட்டிவிட்டு, அதே அளவிற்கு 90°$c$ சூடுகொண்ட வெந்நீரை நிரப்பி, இப்பரிசோதனையை மீண்டும் செய்யவும். தண்ணீரின் நிறையாகிய W-வையும் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். திரவத்திற்கும், தண்ணீருக்கும், தனித் தனியே இரண்டு குளிர்தல் வரைகளை சதுரங்கத்தாளிலே வரைந்துகொள்ளவும். இவற்றிலிருந்து ஒரே சூட்டு இடை வெளியைக் கடப்பதற்கு (65°$c$ யிலிருந்து 45°$c$ என்று கொள்ளலாம்). முறையே திரவத்திற்கும் தண்ணீருக்கும் ஆகும் $t_1$, $t_2$ என்னும் நேரங்களைக் காணவும். முன்னே கண்ட வாய்பாட்டினுதவியால் திரவத்தின் வெப்ப-உரிமையைக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

உதாரணம் (1) 30 செ. மீ. நீளமும், 20 செ. மீ. அகலமும், 10 செ. மீ. தடிப்பும் கொண்டதொரு இருப்புப் பலகையின் ஒரு முகத்தைப் பனிக்கட்டி சூழ்ந்திருக்கிறது. மற்ருெரு முகத்தை 100°$c$ சூட்டிலேயுள்ள நீராவி சூழ்ந்திருக்கிறது. நிமிஷத்திற்கு 810 கிராம் பனிக்கட்டி உருகி வழிந்ததானல் இரும்பின் வெப்ப உகைவுப்பான்மை யாதாகும் ?

பலகை முகத்தின் பரப்பு = 30 × 20 = 600 ச. செ. மீட்டர். ஒரு செகண்டிலே உருகும் பனிக்கட்டியின் நிறை

$$\frac{810}{60} = 13\frac{1}{2} \text{ கிராம்.}$$

இதற்கு வேண்டிய வெப்பம் $13\frac{1}{2} \times 80 = 1080$ கனலி. ஒரு செகண்டிலே பரவிச் செல்லும் சூட்டினளவு $Q = \frac{k\,A}{d}(t - t_2)$ ஆகும். இதில் $k$ என்பது உகைவுப்பான்மை, A என்பது முகத்தின் பரப்பு. $d$ என்பது பலகையின் தடிப்பு; $t_1, t_2$ என்பன முகங்களின் சூடுகள்.

இந்த வாய்பாட்டிலே கணக்கில் கண்ட இராசிகளை ஈடிடவே, $1080 = \frac{k \times 600}{10}(100 - 0)$

$= k\,6000.$ ஆகையால் **k = 0·18.**

உதாரணம் (2) ஒரு திரவத்தின் உரிமை-வெப்பம் குளிர்ச்சி முறையால் காணப்பட்டது. வெப்பமானியின் நிறை 16·24 கிராம்; திரவத்தோடு சேர்ந்து அதன் நிறை 27·18 கிராம். தண்ணீரோடு சேர்ந்து அதன் நிறை 30·14 கிராம்; $60°c - 55°c$ வரை குளிருவதற்கு திரவத்திற்கு 140 செகண்டுகளும், தண்ணீருக்கு 330 செகண்டுகளும் ஆயின. செம்பின் உரிமை-வெப்பம் = ·095. திரவத்தின் உரிமை-வெப்பத்தைக் காண்க.

வெப்பமானியின் நீர் ஒப்புமை
= 16·24 × ·095
= 1·54 கிராம்.

திரவத்தின் நிறை = 27·18 — 16·24
= 10·94 கிராம்.

தண்ணீரின் நிறை = 30·14 — 16·24

= 13·90 கிராம்.

ஒரு செகண்டிலே திரவம் இழந்தவெப்பம்

$$= \frac{(10 \cdot 94\, s + 1 \cdot 54)\ 10}{140} = \frac{(13 \cdot 9 + 1 \cdot 54)\ 10}{330}$$

ஆகையால் $s = 0 \cdot 46$.

திரவத்தின் உரிமை-வெப்பம் ·46 ஆகும்.

## வினக்கள்

1. இரண்டு உலோகச் சட்டங்களின் மீது மெழுகு தடவப்பட்டு, அவை படுக்கை வாக்கிலே வைக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றின் ஒரு புறமுள்ள முனைகள் கொதிக்கும் வெந்நீரால் சூழப்பட்டுள்ளன. இச்சட்டங்களின் விட்டங்கள் முறையே 1 செ. மீ.; 1·5 செ. மீட்டர். சிறிது நேரங் கழிந்தபின்னர் சட்டங்களில் முறையே 15 செ.மீ., 18 செ. மீ. வரையில் மெழுகு உருகி இருப்பதாகக் காணப்பட்டது. இவ்வுலோகங்களின் வெப்ப உகைவுப்பான்மைகளை ஒப்பிடுக.

2. ஒரு பொருளின் 'வெப்ப உகைவுப்பான்மை' என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு கண்ணுடிக் கலத்தின் உட்புறப் பரப்பு 100 ச. செ. மீட்டர். அதன் கனம் 1·5 மி. மீட்டர். இதிலே $0^{\circ}c$ சூடு கொண்ட பனிக்கட்டிகள் நிரப்பப்பட்டு அதன் வெளிப்புறத்தில் சூடு $100^{\circ}c$ ஆக்கப்பட்டது. சூடு சீராகப் பரவிவரும்போது செகண்டுக்கு எத்தனை கிராம் பனிக்கட்டி உருகுமென்று கணக்கிடுக.

(தண்ணீரின் கரவு-வெப்பம் 80, கண்ணுடியின் உகைவுப்பான்மை 0·00185.)

(சென்னை : செப். 1928).

3. 'வெப்ப உகைவுப்பான்மை' என்னும் பதத்தை விளக்குக. இரண்டு உலோகங்களின் பான்மைகளை எவ்வாறு ஒப்பிட்டறியலாம்.

1·2 செ. மீ. கனம் கொண்ட ஒரு இருப்புத் தகட்டின் ஒரு முகம் $100^{\circ}c$ சூட்டிலே இருக்க, அதன் மற்றொரு முகம் $80^{\circ}c$ சூட்டிலே இருக்கிறது. இத்தகட்டிலே 1 ச. செ. மீ. கொண்ட பரப்பின் வழியாக, ஒரு செகண்டிலே செல்லும் வெப்பத்தைக் கணக்கிடுக. இரும்பின் உகைவுப்பான்மை 0·20 ஆகும்.

(சென்னை : மார்ச், 1924).

4. வெப்ப உகைவுப்பான்மை என்ற தொடருக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. இரண்டு உலோகங்களின் பான்மைகளை எவ்வாறு ஒப்பிட்டறியலாம்?

ஒரு டெசிமீட்டர் சிறையாகக் கொண்டதொரு சதுர வடிவான இருப்புத் தகட்டின் ஒரு முகம், 0°c சூட்டிலேயுள்ள பனிக்கட்டியால் சூழப்பட்டிருக்கிறது. மற்றொரு முகம் முழுவதும் 100°c சூட்டிலே வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. இந்தத் தகட்டின் வழியாகப் பரவி வரும் வெப்பத்தினுல் மட்டுமே பனிக்கட்டி உருகுவ தாகக்கொண்டு, ஒரு மணி நேரத்தில் எவ்வளவு பனிக் கட்டி உருகக்கூடுமென்று கணக்கிடுக. தகட்டின் கனம் 1 செ. மீட்டர். அதன் உகைவுப்பான்மை 0·12.

(சென்னை : மார்ச், 1926).

5. கீழ் வருவனவற்றை விளக்குக.

(a) கோடை காலத்தில் வீட்டின் கூரைகளிலே வெள்ளையடிப்பது நல்லது.

(b) ஆருத கலத்தின் (thermos-flask) தத்து வம்.

(சென்னை மார்ச். 1922).

6. நியூட்டன் கண்ட குளிரும் நியமத்தை எடுத் துக் கூறுக. இதைக்கொண்டு ஒரு திரவத்தின் உரிமை-வெப்பத்தை எவ்வாறு காணலாமென்று விவரிக்கவும்.

(மைசூர் 1933)

7. நியூட்டனது குளிர்-விதியை எடுத்துக் கூறுக. ஒரு பொருள் 100°c சூட்டிலிருந்து 60°c சூடு வரை குளிருவதற்கு 3 நிமிஷங்களாயிற்று. அதே பொருள் 60°c சூட்டிலிருந்து 20°c சூட்டிற்குக் குளிருவதற்கு எவ்வளவு நேரமாகும்? அறையின் சூடு 10°c.

8. நியூட்டனுடைய 'குளிரும் நியமத்தை' எடுத்துக் கூறுக. இதைச் சரிபார்க்குமொரு பரிசோதனையை விவரித்துக்கூறுக. எந்தப் பிரேட்சைகளைக் காணவேண்டுமென்றும், அவற்றை எவ்வாறு கையாளுவதென்றும் தெளிவாக விளக்குக.

(சென்னை மார்ச். 1923)

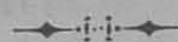
9. நியூட்டனின் 'குளிரும் நியமத்தை' எடுத்துக் கூறுக. இதை எவ்வாறு பரிசோதனையால் சரிபார்க்கலாமென்று விளக்குக.

ஒரு வெப்பமானியிலே (நீர் ஒப்புமை 5) யுள்ள 100 க. செ. மீ. தண்ணீர் 50°c-யிலிருந்து 40°c-க்குக் குளிருவதற்கு 8 நிமிஷங்களாகின்றன. இதே நிலையில், இதே பருமை கொண்டதும், ·8 ஒப்புச் செறிவுகொண்டதுமான திரவம் குளிருவதற்கு 4 நிமிஷங்களாகின்றன. இத்திரவத்தின் வெப்ப-உரிமையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை : அக். 1920).

---

# அத்தியாயம் 9



## வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை

## (Dynamical equivalent of heat)

வெப்பமென்பது கனலிகை (Caloric) என்ற ஒரு திரவம் என்று முன்னால் நினைத்தார்கள். சூடேறிய இரும்புத் துண்டிலே இத்திரவம் ஏதோ ஒரு விதமாகக் கலந்திருக்கிறது. இவ்வாறு இத்திரவம் கலந்திருப்பதே சூடேறிய இருப்புத் துண்டுக்கும் சாமானியமான ஒரு இரும்புத் துண்டிற்குமுள்ள வேற்றுமைக்குக் காரணம். மற்றும் இத்திரவம் அழியாத தன்மை வாய்ந்தது என்று கருதப்பட்டு வந்தது. 1798-ம் ஆண்டிலே ரம்போர்ட் (Rumford) என்பார் இரண்டு உலோகக் கட்டைகளைத் தேய்ப்பதால் அதைச் சூழ்ந்துள்ள தண்ணீரைக் கொதிக்கச் செய்யலாமென்றும், இவ்வாறு வெளிப்படும் வெப்பம் தேய்ப்பதில் செலவழிக்கப்படும் வேலையினளவைச் சார்ந்ததேயன்றித் தேய்க்கப்பட்ட உலோகக் கட்டைகளின் நிறையைச் சார்ந்ததல்லவென்றும் கண்டார். வரையறுக்கப்பட்ட அளவுள்ள உலோகத்திலிருந்து, வரம்பற்ற அளவுகொண்ட வெப்பத்தை உண்டாக்கலாம். எனவே வெப்பம் பதார்த்தமாயிருக்கமுடியாது என்று கூறினர். ஏனெனில் பதார்த்தத்தை வரம்பற்ற அளவுக்கு உண்டாக்க முடியாது. டேவி (Davy) என்ற அறிஞர் இதைப் பின்னும் விளங்க வைத்தார். அவர் கனலிகைத் திரவமே கலக்காதது எனக் கருதப்பட்டுவந்த பனிக்கட்டிகளில் இரண்டை நன்றாகத் தேய்த்து, அவற்றையே உருக்கிவிடக்கூடிய அளவுக்கு வெப்பத்தை உண்டாக்கினர். ஜூல் (Joule) என்பார் பின்னும் ஒரு படி முன்னேறிச் சென்று, ஒரு

குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பத்தை உண்டாக்குவதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலையினளவைக் கணக்கிட்டார். இதனால் வேலையை வெப்பமாக மாற்ற முடியுமென்று தெரிகிறது. இவ்வாறே வெப்பத்தையும் வேலையாக மாற்றக்கூடும். நீராவி யந்திரத்திலே வெப்பத்தைக் கொண்டே நீராவியினால் வேலை செய்யப்படுகிறது. வேலை வெப்பமாக மாறினாலும், வெப்பம் வேலையாக மாறினாலும் வெப்பத்திற்கும் வேலைக்குமுள்ள தகவு மட்டும் மாறாது ஒரே அளவினதாகவிருக்கும். மேற்கூறிய விஷயமே வெப்ப-இயக்கவியல் முதல் விதி (first law of thermodynamics) எனப்படும். W அலகுகள் கொண்ட வேலையை வெப்பமாக மாற்றும்போது அது H அலகுகள் கொண்டதாயிருந்தால், W = J H ஆகும். இதில் J என்பது அலகுகளைமட்டும் சார்ந்ததொரு மாறிலியாகும். இதிலிருந்து ஒரு அலகுகொண்ட வெப்பத்தை உண்டாக்கவேண்டுமானால் J அலகுகள் கொண்ட வேலையைச் செய்யவேண்டும் என்று அறிந்து கொள்ளலாம். இந்த J என்னும் இராசி வெப்பத்தின் ‘இயக்கவியல் ஒப்புமை’ (dynamical equivalent) எனப்படும். இந்த இராசி வேலை அலகையும், வெப்ப அலகையுமே சார்ந்தது என்று முன்பு கூறினோம். மெட்ரிக் முறையிலே இதன் அளவு $4{\cdot}2 \times 10^7$. அதாவது ஒரு கனலி வெப்பத்தை யுண்டாக்குவதற்கு $4{\cdot}2 \times 10^7$ எர்க் வேலை செய்யவேண்டியிருக்கும்.

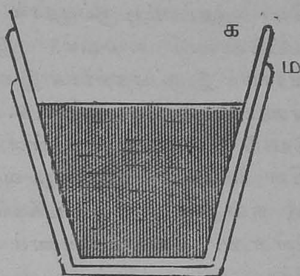
மேற் கூறியபடி வேலையும் வெப்பமும் ஒன்றோடொன்று பிணைந்திருப்பதை நோக்கும்போது, வெப்பத்தின் இயல்பு என்னவென்று ஐயம் தானாகவே எழும். இயக்கவியலிலே முன்பொருமுறை இத்தகைய உறவு ஒன்றைக் கண்டோம். அதாவது ஒரு பொருளின் இயக்க ஆற்றலுக்கும் அது செய்யக்கூடிய வேலைக்கும் தொடர்புண்டு என்பது. இதிலிருந்து ஒரு பொருள்

சூடேறியிருப்பதால் அதிலேற்படும் ஆற்றல், இயக்க வியல் ஆற்றலாக இருக்கலாமென்று நமக்குத் தோன்றும். இதுவே வெப்பத்தின் இயக்கவியல் வாதம் எனப் படும். இந்த வாதத்தின்படி ஒரு பொருளில் ஏற்படும் வெப்பம் அப்பொருளின் பலவேறு மூலகங்களும் கொண்டுள்ள இயக்க ஆற்றலின் கூட்டுத் தொகையாகும். ஒரு ஈயத் துண்டை ஒரு இருப்புக் கட்டை மீது வைத்து, அதைச் சுத்தியால் பன்முறை அடித்தால், அந்த ஈயத் துண்டிலே சூடேறியிருப்பதைக் காணலாம். இங்கே நமது கண்ணிற்குப் பிரத்தியட்சமாகப் புலப் படும் சுத்தியின் இயக்க ஆற்றல், ஈயத்துண்டிலே வெப்ப ஆற்றலாக மாறுவதைக் காண்கிறோம். இவ்வெப்ப ஆற்றலும் ஈயத்துண்டினது பலவேறு மூலகங்களுக்கு அதிர்ச்சியாலேற்பட்ட இயக்க-ஆற்றலேயாகும் என்று கருதப்படுகிறது. ஒரு பொருளை நாம் சூடேற்றும் போது அப்பொருளிலுள்ள மூலகங்களின் இயக்க வேகத்தை அதிகரித்து, அதனால் அவற்றின் இயக்க-ஆற்றலை அதிகரிக்கிறோம். இதிலிருந்து வெப்பத்திற் கும் வேலைக்கும் எவ்வாறு ஒரு நிலையான தொடர்பு ஏற்பட்டிருக்கிறது என்பது விளங்கும்.

## பரிசோதனையால் J-யினளவைக் காணல்

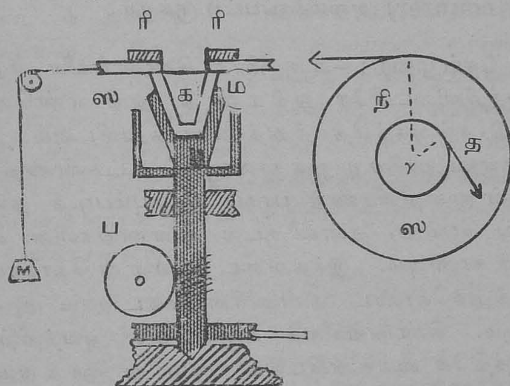
*தத்துவம் :—இதற்குரிய கருவியின் பிரதான அம்சம் க, ம என்னுமிரண்டு கூருருளை வடிவான* (conical) *கிண்ணங்களாகும். (படம் 217). இக்கிண் ணங்கள் ஒன்றினுள்ளொன்று இறுக்கமாகப் பதிந்து நிற்கும். உட்கிண்ணத்தில் தண்ணீரைப் பெய்து வெளிக் கிண்ணத்தை வேகமாகச் சுற்றுவோம். இப்போது உராய்புச் சிக்கலை எதிர்த்து வேலை செய்யப்படுகிறது. இந்த வேலை வெப்பமாக மாறிக் கிண்ணங்களையும் தண் ணீரையும் சுடச் செய்கிறது. இதனால் ஏற்பட்ட வெப்*

பத்தை நாம் அளந்துவிடலாம். இதற்காகச் செய்யப்பட்ட வேலையை அளவிடக் கூடுமானல், J-யை நிர்ணயித்துவிடலாம். இந்த வேலையை அளவிடுவதற்கே இக்கருவியின் மற்ற அம்சங்கள் சாதனமாகின்றன.




படம் 217

கருவி :—க, ம என்பன கூருருளைக் கிண்ணங்கள். இவை பித்தளையாலானவை. (படம் 217). வெளிக்கிண்ணம் அதனடியிலுள்ள செங்குத்தான கதிரோடு (spindle) இணைக்கப்




படம் 218

பட்டுள்ளது. (படம் 218). இக்கதிரும் மற்றொரு பெரிய சக்கரத்தோடு கயிற்றினல் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே, இந்தச் சக்கரத்தை அதற்குரிய கைப்பிடியைக் கொண்டு சுழற்றினல், வெளிக்கிண்ணமாகிய ம சுழலும். ஸ என்பது ஒரு வட்டமான மரத்தட்டு. உட்கிண்ணத்

தின் விளிம்புகளிலுள்ள இரண்டு முனைகளின்மீது பொருத்தப்பட்டிருப்பதால் இத்தட்டு சுழலும்போது உட்கிண்ணம் சுழலும். இது மேலெழுந்து மிதந்து வராமல் இருப்பதற்காக இதன்மீதுரி என்னும் ஒரு ஈய எடை வைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தத் தட்டினது பரிதியோடு இணைக்கப்பட்டுள்ளதொரு சரடு ஒரு சகடையின் மேலே சுற்றிக் கீழே வருகிறது. இதன் நுனியில் M என்னும் ஒரு எடைக்கல் கட்டித் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. வெளிக்கிண்ணம் சுழலும்போது, உராய்வுச் சிக்கலினால் உட்கிண்ணமும் அதனோடு சுழலமுயலும். ஆனால் சரட்டிலுள்ள பிகு இவ்வாறு உட்கிண்ணம் சுழலுவதைத் தடுக்கும். வெளிக்கிண்ணத்தின் சுழற்சிகளை எண்ணுவதற்காகக் கதிரிழையில் ஒரு எண்ணல்-கருவியும் (counter) அமைக்கப்பட்டிருக்கும்.

செய்முறை:—கூருருளைக் கிண்ணங்களை எடுத்து அவற்றினிடையிலே ஓரிரண்டு துளி எண்ணெயை இட்டு, நன்றாகத் தேய்த்துத் துடைத்துவிடவும். அவற்றின் எடையாகிய $w_1$ ஐக் காணவும். உட்கிண்ணத்திலே அதன் மூன்றிலிரண்டு பாகம் நிரம்பும்படித் தண்ணீரைப் பெய்து, தண்ணீருடன் கிண்ணங்களின் எடையைக் காணவும். இந்த எடை $w_2$ என்று கொண்டால், எடுத்துக்கொண்ட தண்ணீரின் எடை $w = w_2 - w_1$ ஆகும். கிண்ணங்களைக் கருவியிலே அவற்றிற்குரிய இடத்திலே வைத்துவிடவும். ஒரு நுணுக்கமான உஷ்ணநிலைமானியைத் தண்ணீரிலே இட்டு வைக்கவும். தட்டோடு இணைக்கப்பட்டுள்ள சரட்டை அதன் விளிம்பிலுள்ள பள்ளத்திலே சுற்றிவரச் செய்து, அதை இழுத்து சகடையின் மேலே கொண்டுவந்து, அதன் நுனியில் உள்ள தராசுத் தட்டிலே ஒரு எடைகல்லை வைக்கவும். இப்போது சக்கரத்தைச் சுழற்றினால் எடை மேலே ஏறாமலும் கீழே இறங்காமலும்

நிற்கவேண்டும். இவ்வாறு நிற்காவிடில் எடையை மாற்றிச் சக்கரம் சுழலும்போது, அது முன் கூறியபடி மேலே ஏறுமலும் கீழே இறங்காமலும் நிற்கும்படி சரிப்படுத்தவும். இதிலே வெளிக்கிண்ணம் உராய்வுச் சிக்கலினலே உள்கிண்ணத்தையும் தன்னேடு சுழற்ற முயலுகிறது. சரட்டிலுள்ள பிருவோ அதை எதிர்த் திசையிலே சுழற்ற முயலுகிறது. இவையிரண்டு சக்திகளும் சமமாகித் துலைப்படும்படியான வேகத்தோடு சக்கரம் சுழலவேண்டும்.

முதலில் தண்ணீரில் வைக்கப்பட்டுள்ள உஷ்ணநிலைமானியின் வாசகமாகிய $t_1$ ஐக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். சக்கரத்தைச் சுழற்றிக்கொண்டே உஷ்ணநிலைமானியைக் கவனித்து வரவும். உஷ்ணநிலைமானியின் வாசகம் 4 அல்லது 5 பாகைகள் மேலேறியவுடன் சுழற்றுவதை நிறுத்திவிட்டு, மறுபடியும் மானியின் வாசகத்தை நுணுக்கமாகக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். மற்றும், எண்ணல் கருவியின் வாசகத்தையும் கண்டு, அதன் வாசக வேற்றுமையாகிய N என்பதைக் கணக்கிட்டுக் குறித்துக் கொள்ளவும். மரத்தட்டின் பரிதியினளவாகிய $l$ என்பதையும் ஒரு நூலினல் அளந்துகொள்ளவும்.

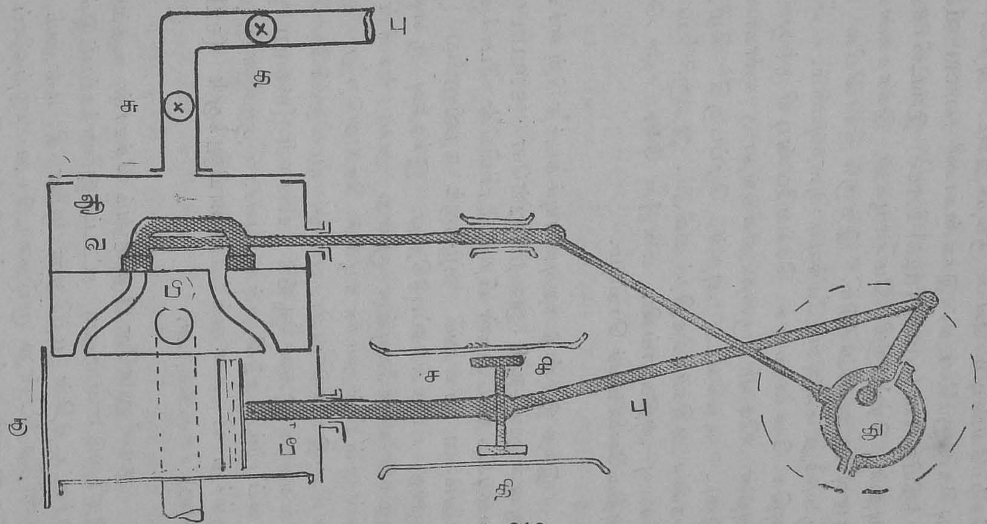
கணக்கீடு :—தராசுத் தட்டும் எடைகல்லும் சேர்ந்து M கிராம் நிறை கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். கதிரும் வெளிக்கிண்ணமும் அசையாது நிற்க, மரத்தட்டோடு எடைகல்லை மட்டும் உள்கிண்ணத்தைச் சுழற்றிக் கொண்டு கீழே விழச் செய்தால், அது செய்யக்கூடிய வேலையினளவு $W = M \times g \times N \times l$ எர்க்குகள் ஆகும். இதே அளவு வேலையை உராய்வுச் சிக்கல் செய்திருக்கிறது. இந்த வேலையெல்லாம் வெப்பமாக மாறிக் கிண்ணங்களையும் தண்ணீரையும் சூடேற்றிவிட்டது. இந்த வெப்பத்தினளவு $H = (w_1 s + w)$

$(t_2 - t_1)$ கனலிகளாகும். இதில் $s$ என்பது கிண்ணங்கள் ஆக்கப்பட்டுள்ள பித்தளையின் வெப்ப உரிமையாகும். எனவே $M\,g\,N\,l = J\,(w_1\,s + w)\,(t_2 - t_1)$. அல்லது

$$J = \frac{W}{H} = \frac{M\,g\,N\,l}{(w_1\,s + w)\,(t_2 - t_1)}$$ ஆகும்.

(இதில் ஏற்படக்கூடிய பிரதான பிழை கிரணித்த வினால் தண்ணீரும் கிண்ணங்களும் இழந்துவிடக்கூடிய வெப்பமேயாகும். இதைத் திருத்தவேண்டுமானால் சுழற்றிக்கொண்டிருந்த நேரமாகிய T யைக் குறித்துக் கொண்டு, பரிசோதனை முடிந்தபிறகு சூடேறிய தண்ணீரைத் தன் வயமாகக் குளிரவிட்டு, அது குளிரும் வேகத்தைக் கணக்கிடவும். இது செகண்டுக்கு $t°c$ ஆனால் இதில் பாதியை T என்னும் நேரத்தால் பெருக்கி வரும் தொகையாகிய $\frac{T\,t°}{2}$ என்பதை இறுதியில் கண்ட $t_2$ என்னும் சூட்டோடு கூட்டிக்கொள்ளவும்). இந்தப் பரிசோதனையால் வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை ஏறக்குறைய $4{\cdot}18 \times 10^7$ அளவுகொண்டதாக இருப்பதை அறியலாம்.

நீராவி என்ஜின் :—(படம் 219)ஐப் பார்க்கவும். நீராவி பு என்னும் புகுவாயிலில் நுழைவது முதல் பி என்னும் புறவாயிலின் வழியாக வெளிப்படுவது வரை. கண்காணித்தால், இந்த என்ஜின் தொழிற்படும் முறை நன்றாக விளங்கும். த என்பது தடைக்கதவு (stop valve) எனப்படும் ஒரு வழிக்கதவாகும். இது ஒரு சக்கரத்தால் ஆளப்படும். இச்சக்கரம் ஓட்டுகிறவனுக்கு அருகிலே இருக்கும். இதைக்கொண்டு நீராவியின் செலவை நாம் விரும்பியபடி கட்டுப்படுத்திக்கொள்ளலாம். இதன் பிறகு சு என்னும் சுழல் கதவு இருக்கிறது. இது தனக்கு மேலே நிற்கும் கண்காணி (steam governor)யால் ஆளப்படுகிறது. என்ஜின்



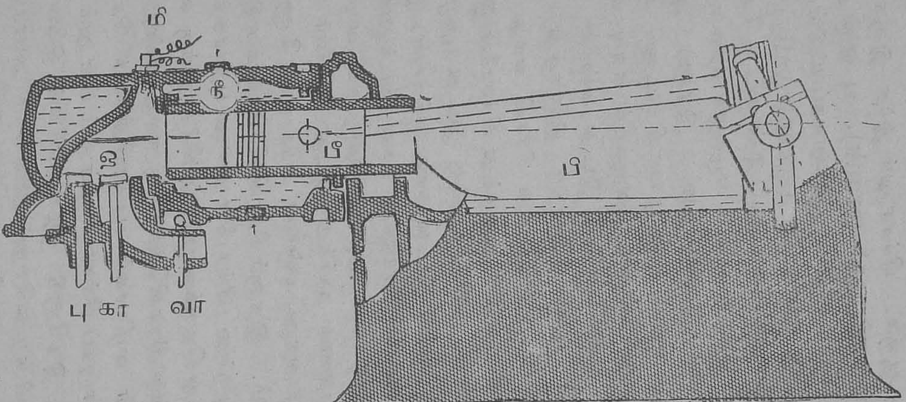
படம் 219

செய்யவேண்டிய வேலை குறைந்துவிட அதன் வேகம் அதிகரிக்கும்போது, இக்கண்காணி மைய விலக்கச் சக்தியினலே (centrifugal force) இடைவிரிந்துவிட, அதன் கீழ்ப்பகுதி மேலெழுந்து இக்கதவைச் சிறிதளவு அடைத்துவிடும். இதனல் நீராவியின் செலவு குறைந்து என்ஜின் வேகமும் குறைவுபடும். என்ஜின் அதிக வேலையைச் செய்யவேண்டியிருக்கும்போது அதன் வேகம் குறைந்துவிடுவதால், கண்காணியின் இடை குறுகிவிட, அதன் கீழ்ப்பகுதி கீழிறங்கிக் கதவை அதிகமாகத் திறந்துவிடும். இதனல் நீராவியின் செலவு அதிகமாய்விட என்ஜின் வேகமாகச் சென்று அதிக வேலையைச் செய்யும்.

இந்த இரண்டு கதவுகளையும் கடந்த பின்னர் நீராவி ஆ என்னும் ஆவி அறையினுள்ளே (steam chest) நுழைகிறது. இதன் பிறகு நீராவியின் போக்கு முழுவதும் வ என்னும் வழுக்குக் கதவினலே (slide-valve) நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. இக்கதவு கு என்னும் குழலின் சுவரிலேயுள்ள மூன்று துவாரங்களின் மீது முன்னும் பின்னுமாக நழுவிச் செல்லுகிறது. ஓரத்திலுள்ள இரண்டு துவாரங்களும் குழலினுள்ளே செல்லுகின்றன. இவை ஆவிக் கண்கள் (steam ports) எனப்படும். நடுவிலுள்ள துவாரம் குழலின் புறத்தைச் சூழ்ந்து பி என்னும் புறவாயிலுக்குள் (exhaust pipe) செல்லுகிறது.

குழலினுள்ளே பீ என்னும் பீச்சான் உழல்கிறது. இதனேடு ச என்னும் சட்டம் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இச்சட்டத்தின் மற்றொரு முனை சி என்னும் தலைப்பூணிலே சென்று முடிவடைகிறது. இத்தலைப் பூண் தி என்னும் தண்டவாளங்களினிடையே உழலுகிறது. இதனல் பீச்சான் சட்டம் முன்னும் பின்னும் மட்டுமே

இயங்கக் கூடும். து என்பது துலைநேமியின் (fly-wheel) இருசு ஆகும். பீச்சானும் இந்த இருசும் து என்னும் குழங்கையினாலும் (crank), பு என்னும் பிணைப்புச் சட்டத்தாலும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இருசோடு ஒதுங்கு மையமாக (eccentrically) ஒரு வட்டில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வட்டிலோடு இணைக்கப்பட்டதொரு சட்டம் வழுக்குக் கதவை முன்னும் பின்னுமாக இயக்குகிறது. இதனால் ஆவிக் கண்கள் ஆவி அறையுடனும் புறவாயிலுடனும் மாறி மாறி இணைக்கப்படுகின்றன. வழுக்குக் கதவு வலது கண்ணை ஆவி அறையோடும், இடது கண்ணை நடுக் கண் வழியாகப் புறவாயிலோடும் இணைத்து நிற்பதாகக்கொள்வோம். இப்போது நீராவி வலது கண் வழியாகக் குழலினுள்ளே நுழைந்து பீச்சானை இடது புறமாகத் தள்ளும். பீச்சானுக்கு இடது புறமுள்ள நீராவி நெருக்கப்பட்டு இடது கண், நடுக்கண், இவற்றின் வழியாகப் புறவாயிலைச் சென்றடைந்துவிடும். பீச்சான் இடது ஓரத்தை அடைவதற்கு முன், வழுக்குக் கதவு வலதுபுறமாக நகர்ந்து இடது கண்ணை ஆவி அறையோடும், வலது கண்ணை நடுக் கண்ணோடும் இணைத்துவிடும். இதனால் நீராவி பீச்சானுக்கு இடது புறமாய் உட்புகுந்து பீச்சானை வலது புறமாகத் தள்ளும். இவ்வாறு நெருக்கப்பட்டுப் பீச்சானுக்கு வலது புறத்திலே நின்ற நீராவியெல்லாம், வலது கண், நடுக் கண் இவற்றின் வழியாகப் புறவாயிலுக்குச் சென்றுவிடும். இவ்வாறாகப் பீச்சான் முன்னும் பின்னும் தள்ளப்படுவதால், இதனோடு குழங்கையினால் இணைக்கப்பட்ட துலை நேமி சுழலுகிறது. துலை நேமி அபாரமான நிறையும் ஜடத்வமும் கொண்டதாதலின், அது பீச்சான் இயக்கத்தில் ஏற்படக்கூடிய முட்டுகளை நிவர்த்தி செய்து இயக்கத்தை ஒழுங்குபடச் செய்கிறது. இதுவே நீராவி என்ஜின் வேலை செய்யும் தத்துவமாகும்.




படம் 220

பீ—பீச்சான்   வா—வாயுக்கதவு   பு—புறவாய்க்கதவு   மி—மின்முனை
ஓ—ஓதுக்கிடம்   கா—காற்றுக்கதவு   பி—பிணைப்பு சட்டம்   நீ—நீரோட்டக் கூடு

கரிவாயு என்ஜின் (gas engine) :—இதன் செயல் முறை (படம் 220)ல் நன்கு விளங்கும். அது புற நோக்காக வெட்டிக் காட்டப்பட்டுள்ளது. பீ என்பது உட்கூடான ஒரு பீச்சான். இதனோடு பிணைப்புச் சட்டம் நேரே இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒ என்பது ஒதுக்கிடம் (clearance space). இங்கே பீச்சான் வருவதில்லை. கா என்பது காற்றுக் கதவு (air valve). இதனால் காற்று குழாயினுள் நுழைவது மட்டுமே சாத்தியம். வா என்பது வாயுக்கதவு (gas valve). இது காற்றுக் குழாயினுள்ளே திறந்துவிடுகிறது. இவற்றின் வாய் அகலம் கணக்காகச் செய்யப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு பங்கு கரிவாயுவும் பதினொரு பங்கு காற்றும் கலந்த கலவை இதனால் குழாயினுள் நுழையும். பு என்பது புறவாயில். மி என்னும் முனையிலே உள்ள உலோக முனைகளினிடையே தக்க சமயத்தில் மின்பொறி பாய்வதால் இக்கலவை அனல் மூண்டு வெடிக்கும். இதனால் பீச்சான் உதைத்துத் தள்ளப்பட்டு ஓடும். துலே நேமி இந்த உதைப்புகளைப் பதப்படுத்தி என்ஜினைச் சீராக ஓட்டும். இத்தகைய என்ஜின்களின் தொழில் முறை ஒட்டோ சுழல் (otto cycle) எனப்படும். அது வருமாறு :—

முதலில் பீச்சான் பின்னோக்கிப் போகும். இதே சமயத்தில் கா, வா என்னும் கதவுகள் தூக்கப்படுவதால் வாயுவும் காற்றும் கலந்த கலவைக் குழாயினுள் உறிஞ்சப்படும். இந்தக் கலவை பவன-இறுக்கத்தைக் கொண்டிருக்கும். இது முதற் படி.

பீச்சான் மீண்டு முன்னேறி வந்து கலவையை ஒதுக்கிடத்தினுள்ளே நெருக்கும். கலவையின் இறுக்கம் ச. அங்குலத்திற்கு 15 பவுண்டிலிருந்து 100 பவு. வரை உயரும். இது இரண்டாவது படி. பீச்சான் தளர்நிலையை அடையும்போது மின்பொறிபாய, அத

ணுல் கலவை அனல் மூண்டெறியும். இவ்வாறு எரிவதை 'வெடிப்பது' என்று கூறுகிறோம். அவ்வாறு சொல்வது சரியல்ல. எரிவதனல் கலவையின் சூடு உயர்ந்து சுமார் 2,000°c ஆகும். இச்சூட்டினுல் ஏற்படும் பெருக்கத்திற்கு இடமில்லையாகையால், கலவையின் இறுக்கம் சதுர அங்குலத்திற்கு 300 அல்லது 400 பவுண்டு ஆய்விடும். இதனுல் பீச்சான் வேகமாகப் பின்னேக்கி உதைத்துத் தள்ளப்படும். இறுக்கமும் 50 அல்லது 60 பவுண்டு ஆகக் குறைந்துவிடும். இது மூன்ருவதுபடி.

மறுபடியும் பீச்சான் முன்னேக்கி மீண்டுவரும் போது புறவாயில் திறந்துவிடுவதால், எரிந்த காற்றெல்லாம் வெளியேறிவிடும். இது நான்காவதுபடி.

பீச்சான் பின்னேக்கி மீளும்போது புறவாயில் கதவு மூடிவிட, புகுவாயில் திறந்து, காற்று-வாயுக் கலவை குழாயினுள்ளே நுழையும். இந்தச் சுழல் மீண்டும் மீண்டும் நிகழும். கதவுகளெல்லாம் தக்க சமயத்திலே திறக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

இதிலேற்படும் சூடு அதிகமாகையால் விரைவிலே குழாய் செம்பழுப்பு நிறமாகிவிடும். இது நிகழாதிருப்பதற்காக குழாயை நீ என்னும் நீரோட்டக்கூடு சூழ்ந்திருக்கிறது. பீச்சானின் விட்டம் 18 அங்குலத்திற்கு மேற்பட்டால் அதனுள்ளும் நீரோட்டம் இருக்கவேண்டியதவசியம். சில பெரிய என்ஜின்களிலே கதவுகளும் குளிரச் செய்யப்படுவது வழக்கம்.

உதாரணம் (1) செ. கி. செ. சென்டிகிரேட் அலகுத் திட்டத்திலே தண்ணீரின் கரவு-வெப்பம் 80. வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை $4{\cdot}18 \times 10^7$ எர்க்கு. பாரன்ஹீட் திட்டத்திலே இந்த ராசிகளின் மதிப்பு எவையாக இருக்கும்.

ஒரு பாரன் ஹீட் பாகை = $\frac{5}{9}$ சென்டிகிரேட் பாகை. கரவு-வெப்பம் கனலி என்னும் அலகிலே எடுத்துரைக்கப்படுகிறது. கனலி யென்பது ஒரு கிராம் தண்ணீரை, ஒரு சென்டிகிரேட் பாகை சூடு உயரச் செய்வதற்கு வேண்டிய வெப்பம். அதாவது ஒரு கிராம் தண்ணீரை $\frac{9}{5}$ பாரன் ஹீட் பாகையளவுக்கு உயர்த்தவேண்டிய வெப்பம்.

ஆகையால் 1 செ. கி. கனலி = $\frac{9}{5}$ பாரன் ஹீட் கனலி.

ஆகையால் 80 செ. கி. கனலியாகிய நீரின் கரவு-வெப்பம் $\frac{80 \times 9}{5} = 144$ பாரன் ஹீட் கனலி. எனவே பாரன் ஹீட் திட்டத்திலே நீரின் கரவு-வெப்பம் **144** ஆகும்.

சென்டி கிரேட் திட்டத்திலே ஒரு கனலிவெப்ப முண்டாக்குவதற்கு $4{\cdot}18 \times 10^7$ எர்க்கு வேலை வேண்டியிருக்கிறது.

1 பாரன் ஹீட் கனலி = $\frac{5}{9}$ சென்டி கிரேட் கனலி.

ஆகையால் 1 பாரன் ஹீட் கனலி வெப்பமுண்டாக்குவதற்கு $\frac{5}{9} \times \mathbf{4{\cdot}18 \times 10^7}$ எர்க்கு வேலை போதுமானது; எனவே பாரன் ஹீட் திட்டப்படி வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை $\frac{5}{9} \times 4{\cdot}18 \times 10^7 = \mathbf{2{\cdot}32 \times 10^7}$ எர்க்கு ஆகும்.

உதாரணம் (2) வெப்ப-உரிமை 0·18 கொண்டதும், 5 கிராம் நிறைகொண்டதுமான ஒரு பொருள் $15°c$ சூட்டிலே இருக்கிறது. இது எவ்வளவு கதியோடு செல்லும்போது திடீரென்று நிறுத்தப்பட்டால், அதன் இயக்க ஆற்றலெல்லாம் வெப்ப-ஆற்றலாக மாறி, அதன் சூட்டை $17°c$ ஆக அதிகரித்துவிடக்கூடும்.

சூடேறுவதற்கு வேண்டிய வெப்பம் $5 \times 0{\cdot}18 \times 2$
$= 1{\cdot}8$ கனலி.

இதையுண்டாக்குவதற்கு வேண்டிய இயக்க-ஆற்றல் $= 1{\cdot}8 \times 4{\cdot}2 \times 10^7 = 7{\cdot}56 \times 10^7$ எர்க்கு.

இத்தகைய இயக்க-ஆற்றலைப் பெறுவதற்காக அப்பொருள் செல்லவேண்டிய கதி $v$ என்று கொள்வோம்.

இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} \times 5 \times v^2 = 7{\cdot}56 \times 10^7$

அல்லது $v^2 = 30{\cdot}24 \times 10^6$.

அல்லது $v = 5{\cdot}499 \times 10^3$.

அப்பொருள் $5{\cdot}499 \times 10^3$ செ. மீ/செக. என்னும் கதியோடு செல்லவேண்டும்.

உதாரணம் (3) 250 கிராம் நிறையுள்ள செப்பு வெப்பமானியிலே 575 கிராம் தண்ணீர் இருக்கிறது. 8·5 வாட்டு விசையோடு இத்தண்ணீர் கலக்கப்பட்டபோது நிமிஷத்திற்கு (·2°c) சூடு அதிகரித்தது. இவற்றைக்கொண்டு J-யின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

வெப்பமானியின் நீர்-ஒப்புமை $= 230 \times {\cdot}093$

$= 23{\cdot}25$ கிராம்.

தண்ணீரோடு கூடிய வெப்பமானியின் நீர் ஒப்புமை $575 + 23{\cdot}25 = 598{\cdot}25$ கிராம்.

ஒரு செகண்டிலே இது ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பம்

$= \frac{598{\cdot}25 \times {\cdot}2}{60} = 1{\cdot}994$ கனலி.

8·5 வாட்டு என்பது செகண்டுக்கு

$8{\cdot}5 \times 10^7$ எர்க்காகும்.

இந்த இயக்க ஆற்றலே வெப்பமாக மாறுவதால் $8{\cdot}5 \times 10^7 = J \times 1{\cdot}994$ அல்லது

$$J = \frac{8{\cdot}5 \times 10^7}{1{\cdot}994} = 4{\cdot}26 \times 10^7$$

---

## வினாக்கள்

1. (*a*) ஆற்றலின் அழியாவியல்பு, (*b*) வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை என்ற தொடர்களின் பொருளென்ன வென்று தெளிவாக விளக்குக.

1 கி. கிராம் நிறைகொண்டதொரு இருப்புக்குண்டு செகண்டுக்கு அரைக் கி. மீட்டர் கதியை மேற்கொண்டு செல்லுகிறது. இதைத் திடீரென்று நிறுத்தி அதன் ஆற்றல் வெளியே செல்லாமல் நின்றால், அதன் சூடு எவ்வளவு அதிகரிக்கக் கூடுமென்று கணக்கிடுக. இரும்பின் வெப்ப உரிமை = 0·11.

(சென்னை, மார்ச். 1926)

2. ஒரு அலகுகொண்ட வேலையை ஒரு வரையறுத்த அளவுகொண்ட வெப்பமாக மாற்றலாமென்று எவ்வாறு நிரூபிக்கப்பட்டது?

கீழே விழுவதால் ஏற்பட்ட இயக்கவியல் ஆற்றல் முழுமையும் வெப்ப-ஆற்றலாக மாறி விடுவதாகக் கொண்டு 100 அடி தூரம் விழும் ஒரு நீர் வீழ்ச்சியின் சூடு அதிகரிப்பைக் கணக்கிடுக. (வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை = 4·2 ஜூல்/கனலி $g$ = 980செ. மீ/செ. க.$^2$

3. சூட்டின் இயக்கவியல்-ஒப்புமை என்றாலென்ன?

(சென்னை, செப். 1924)

4. வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமையைக் காண்பதற்கானதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

(அண்ணாமலை 1934)

5. வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை என்றால் என்ன? அதைக் காணுவதற்கானதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

ஒரு ஈயக் குண்டு (வெ. உரி. = 0 03), 20 மீட்டர் உயரத்திலிருந்து தரையின் மீது விழுகிறது. இதனால் உண்டாகிய ஆற்றல் முழுவதுமே வெப்ப-ஆற்றலாக மாறி விட்டதாகக்கொண்டு அதன் சூடு எவ்வளவு அதிகரிக்குமென்று காண்க.

(அண்ணாமலை 1931)

6. வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமையைக் கணக்கிடுவதற்கானதொரு பரிசோதனையை விளக்கிக் கூறுக.

ஒரு மின்சாரக் கொதிகலம் 2 பைண்ட் (pints) தண்ணீரை 14 நிமிஷங்களிலே 60°F சூட்டிலிருந்து கொதிநிலை வரையில் சூடேற்றியது. இந்த மின்சார சக்தியின் குதிரை விசையைக் கணக்கிடுக. வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை = 778 அடிப்பவுண்டு/பி. சூ. அலகு. 1 காலன் தண்ணீரின் எடை 10 பவுண்டு. 1 பி. சூ. அ. என்பது ஒரு பவுண்டு தண்ணீரை 1°F அளவுக்கு சூடேற்றக்கூடிய வெப்பஅளவு ஆகும்.

(சென்னை, செப். 1926)

---

# பௌதிக நூல்

## விடைகள்

முதற் புத்தகம்

*

# விடைகள்

## இயந்திரவியல்

### அத்தியாயம் 1

1. (a) 24 பி. அ. பி.-களை 25 வெ. அ. பி.-களாகப் பிரிக்கவேண்டும்.

(b) 26 பி. அ. பி.-களை 25 வெ. அ. பி.-களாகப் பிரிக்கவேண்டும்; வெ. அளவியின் பூஜ்ஜியக்கோடு பி. அளவியின் இரண்டாவது பிரிவுக்கும் மூன்றாவது பிரிவுக்கும் இடையே நிற்கவேண்டும். மேலும் வெர்னியரின் 19-வது பிரிவு ஒன்றுபடவேண்டும்.

2. 49 பி. அ. பி.-களை 50 வெ. அ. பி.-களாகப் பிரிக்கவேண்டும்; வெ. அளவியின் பூஜ்ஜியகோடு பி. அளவியின் 6-வது பிரிவுக்கும் 7-வது பிரிவுக்கும் இடையே நிற்கவேண்டும். வெர்னியரின் 26-வது பிரிவு ஒன்றுபடவேண்டும்.

4. 24·628 கிராம்.

### அத்தியாயம் 2

1. $123^\circ\ 22'$

2. $170\frac{2}{3}$ செ. மீ.

### அத்தியாயம் 3

1. 32 அடி/செக.$^2$ பெரியது; இரண்டாவதின் அளவு $6\frac{1}{9}$ அடி/செக.$^2$

2. $\frac{11}{270}$ அடி/செக.$^2$

3. 38,400 கஜம்/நிமி.$^2$

5. கடந்த தூரம் 4,290 அடி;

முடுக்கம் $\frac{11}{45}$ அடி/செக.$^2$; 745 செ. மீ./செக.$^2$

6. துவக்க கதி 58 அடி/செக.;

அருக்கம் 2 அடி/செக.$^2$

7. முடுக்கம் ·8 அடி/செக.$^2$; 10 செகண்டுகளிலே சென்ற தூரம் 280 அடி; 5 செகண்டுகளிலே சென்றதூரம் 130 அடி.

8. 7·998 அடி/செக.$^2$

9. $\frac{2}{3}$ மைல்.

10. கடந்துசென்ற தூரம் 1,250 செ. மீட்டர். அதற்கான நேரம் 35 செக.

11. 80 அடி.

12. துவக்க கதி 77·5 செ. மீ./செக.; முடுக்கம் 35 செ. மீ./செக.$^2$

13. கதி $26\frac{2}{3}$ அடி/செக.

14. 24 செ. மீ.

15. முடுக்கம் $\frac{11}{20}$ அடி/செக.$^2$; நேரம் 40 செகண்டு; பாதி தூரத்தில் அதன் கதி 33 அடி/செக.

16. 252 கஜம்.

17. உயரம் 400 அடி; கதி 160 அடி/செக.

18. (a) 442·8 செ. மீ./செக.

(b) 420·2 செ. மீ./செக.

19. 1,000 அடி/செக.

20. $3056\frac{1}{4}$ செ. மீ.; நேரம் $2\frac{1}{2}$ செக.

21. 400 அடி ; 10·7 செக. ; 143 அடி/செக.
22. 220 அடி.
23. 510 செ. மீ. ; நேரம் 1·02 செக.
24. 231 அடி.
25. 32 அடி/செக.$^2$
26. 166·2 அடி.
27. i (*a*) 2 செக. (*b*) 4 செக.
 ii. 144 அடி.
 iii. 96 அடி/செக.
 iv. 6 செக.
28. 250 மீட்டர் ; 7·14 செகண்டு.
29. 676 அடி.
30. 80 அடி/செக. ; 56 அடி/செக.
31. 979·7 செ. மீ./செக.$^2$
33. 180 பாதி ஆட்டங்கள் மிகும்.
34. 9 மி. மீ. மாற்றப்பட்டது.
35. 119 செகண்டு மிகும்.

## அத்தியாயம் 4

1. 2,33,040 அலகுகள் ; 11652 பவுண்டல்.
2. (*a*) 1,200 டைன் ;
 (*b*) 4,800 டைன்.
4. 31,300 பவு. எடை.
5. (*a*) 150 பவுண்டல்.
 (*b*) 3,750 பவுண்டல்.
6. $\frac{5}{224}$ அடி/செக.$^2$

7. முடுக்கம் 6·4 அடி/செக.$^2$ ; கதி 12·8 அடி/செக. ; 12·8 அடி தூரம்.

9. 140 டைன்.

10. 357 அடி.

11. கதி 900 செ.மீ/செக. ; வேலை 1,215 ஜூல்.

12. $98\frac{6}{13}$ பவுண்டு.

13. 2·3 டன் எடை தோராயமாக.

14. 2,250 பவுண்டல்.

15. 4·5 அடி/செக.

16. 150 செ. மீ./செக.

17. (a) 20 அடி/செக.
(b) $\frac{1}{2}$ அடி.

18. $5\frac{5}{8}$ அடி.

19. 8 அடி/செக.$^2$

20. 6,048 பவுண்டல்.

## அத்தியாயம் 5

1. 10·66 அடி/செக.$^2$
2. $\sqrt{\frac{5}{2}}$ செகண்டு ; $10\sqrt{1\cdot 6}$ அடி/செக.
3. 7·24 செ. மீ./செக.$^2$
5. 2 செகண்டு.

## அத்தியாயம் 6

1. 1,050 பவுண்டல்.
2. $301\frac{5}{7}$ அடிப்பவுண்டு.
3. 156,200 அடிப்பவுண்டு ; 284 குதிரை விசை.
4. ·992 குதிரை விசை.

5. 69·42 குதிரை விசை.

6. 358·4

7. 2·53 குதிரை விசை.

8. 80 குதிரை விசை.

9. 88·6 குதிரை விசை.

10. 740,000 அடிப்பவுண்டு ; ·75 குதிரை விசை.

11. 12,800 அடிப்பவுண்டல் ; 160 அடிப்பவுண்டல்.

12. 384,000 அடிப்பவுண்டல் ; 384,000 அடிப்பவுண்டல் ; 414,000 அடிப்பவுண்டல்.

13. 761·6 அடி/செக.

14. 420 அடிப்பவுண்டு.

15. $55 \times 10^4$ அடிப்பவுண்டல்

16. 16,000 அடிப்பவுண்டல் ; 8,000 அடிப்பவுண்டல் ; 4,000 அடிப்பவுண்டல்.

17. 16 அடிப்பவுண்டல்.

18. $167\frac{2}{11}$ குதிரை விசை.

## அத்தியாயம் 7

3. $200\sqrt{3}$ பவுண்டு.

4. $\frac{10}{\sqrt{3}}$ பவு. எடை ; $\frac{5}{\sqrt{3}}$ பவு. எடை.

5. 15 பவு. எடை ; 12 பவு. எடை

6. 6 பவு. எடை ; $3\sqrt{3}$ பவு. எடை.

7. 25·03 பவு. எடை.

## அத்தியாயம் 8

1. ஒத்த சக்திகள்:—

i. அளவு—190; தூரம் P-யிலிருந்து $4\frac{14}{19}$ செ. மீ.

ii. அளவு 199; தூரம் P-யிலிருந்து $4\frac{194}{199}$ செ. மீ.

iii. அளவு 200; தூரம் P-யிலிருந்து 5 செ. மீ.

எதிர்ச் சக்திகள்: —

i. அளவு 10; தூரம் P-யிலிருந்து 90 செ. மீ.;

ii. அளவு 1; தூரம் P-யிலிருந்து 990 செ. மீ.

iii. சமநிலை கிடையாது.

3. 4 அடி.

4. 3 கி. கிராம்; 10 செ. மீ.

5. 50 கிராம்.

6. $2\frac{1}{2}$ அடி.

7. 5·1 அடி.

8. 8·9 அடி.

9. 3·85 அடி.

10. 400 பவு. எடை.

11. 3225 கிராம் எடை.

12. ஙி-யில் 81 பவு. எடை ஸ-வில் 63 பவு. எடை.

13. $3\frac{1}{2}$ அடி; $62\frac{1}{2}$ பவுண்டிலிருந்து 475 பவுண்டு வரையிலும் ஏதேனுமொரு எடை.

14. (*a*) $3\frac{3}{4}$ பவு; $3\frac{1}{4}$ பவு.

(*b*) $4\frac{11}{12}$ பவு.; $2\frac{1}{12}$ பவு.

15. நீளம் $34\frac{2}{7}$ அங்குலம்; 28 பவு. எடை.

16. 28 பவு. எடை ; 27 பவு. எடை.

## அத்தியாயம் 9

1. 110 கிராம்.
2. 20 கி. புள்ளியிலிருந்து 37·5 செ. மீ.
3. $8\frac{1}{3}$ அங்குலம்.
4. ஸ-விலிருந்து நடுவனில் $2\frac{2}{3}$ அடி தூரம்; ஸ-விலிருந்து நடுவனில் 2·92 அடி தூரம்.
5. தகட்டின் மையத்திலிருந்து ·41 அங்குலம்.
6. O-விலிருந்து OB-யில் 3 செ. மீ. தூரத்தில் இருக்கும்.
7. தகட்டின் மையத்திலிருந்து $1\frac{1}{8}$ செ. மீ.

## அத்தியாயம் 10

4. 40 பவு. எடை.
5. 550 கிராம் ; 5·42 செ. மீ/செக.$^2$

## *நீர்-நிலையியல்*

## அத்தியாயம் 11

1. 7·9 கி/க. செ. மீ.
2. 2·1 கி/க. செ. மீ.
3. 1·4 கி/க. செ. மீ.
4. 67·1% ; 32·9%.
5. 5·7 க. செ. மீ.
6. 1·183.

## அத்தியாயம் 12

1. ஆழம் 106 அடி.
2. $1{\cdot}016 \times 10^6$ டைன்.
4. 51·9 கி. எடை/ச. செ. மீ.
5. $1{\cdot}023 \times 10^3$ டைன்/ச. செ. மீ.
6. $8\frac{1}{3}$ பவு. எடை.
7. 600 கிராம் எடை.
8. 40 அடி.
10. ·92.
11. 1.15 கி/க. செ. மீ. ; 73 செ. மீ. ரசநிரை.

## அத்தியாயம் 13

3. 100 க. செ. மீ.
4. (a) 200 கிராம்.
   (b) 25 கிராம்.
7. 95·68 கிராம் எடை.
8. ·88.
9. 32 கிராம்.
10. 3·25.
11. 16 க. செ. மீ. ; 2·16 கி/க. செ. மீ.
14. ·8 கி/க. செ. மீ.
17. $106 \times 10^4$ கிராம் எடை.
18. ·67.
19. 3.3 கிராம்/க. செ. மீ.
20. 1·6.
21. 1·059.

## அத்தியாயம் 14

4. (c) 1,033·6 செ. மீ.
5. 55·88 செ. மீ.
6. 2·92 க. அடி.
8. 10 அங்குலம்.
9. வெளியேறிய பகுதி $\frac{1}{2}$.
10. 76.4 செ. மீ.
11. 17·1 செ. மீ.
12. ·4 க. அங்குலம்.
13. 5 செ. மீ. ரசநிரை ; 71 செ. மீ.

## அத்தியாயம் 15

2. $P\left(\frac{10}{11}\right)^4$

# வெப்பவியல்

## அத்தியாயம் 2

2. 2·617 க. செ. மீ. ; 1·75 ச. செ. மீ.
3. 134°c
5. ·103 ச. செ. மீ.
6. ·56 க. செ. மீ.
7. 2·75 மி. மீ.
8. 319·92 செ. மீ.

## அத்தியாயம் 3

2. 1·6 க. செ. மீ.
3. ·00002 ; ·0000066.

4. ·000064.
5. 1·5 கிராம்.
6. ·0001752.
7. 75·98 செ. மீ.
8. ·001.
9. 29·68 அங்குலம்.

## அத்தியாயம் 4

3. 3·123 கிராம்.
4. $185{\cdot}1 \times 10^2$ லிட்டர்கள்.
5. 131·9°c.
6. ·185 க. அடி.

## அத்தியாயம் 5

1. ·81 காலன்.
2. ·49.
3. 69·5°c.
4. ·09.
5. 48·5°c.
6. ·45.

## அத்தியாயம் 6

1. 53·5 கிராம்.
2. 80·1 கனலி.
3. 16·875 கிராம்.
5. 534 கனலி.
6. 539·7 கனலி.
7. 6·7 கிராம்.
8. 81 கனலி.

## அத்தியாயம் 7

4. ·552.
5. 25·2°c.
6. ·0174.
7. ·558.

## அத்தியாயம் 8

1. 1·875 : 1
2. 92·5 கிராம்.
3. $20 \times 10^5$ கனலி.
4. 54 கி. கிராம்.
7. $1\frac{2}{7}$ நிமிஷம்.
9. ·593.

## அத்தியாயம் 9

1. 271°c.
2. 233°c.
5. 1·56°c.
6. ·64.

---

## விஷய சூசிகை

---

# பிழை திருத்தம்

| பக்கம் | வரி | பிழை | திருத்தம் |
| --- | --- | --- | --- |
| 4 | 29 | முணேகளின் | முளேகளின் |
| 65 | 17 | வேகத்தை | கதியை |
| 66 | 17 | குறிக்கும் | கொள்வோம் |
| 85 | 27 | காரியாலயத்தில் | கிரியாம்சையில் |
| 88 | 20 | பூனூல் - சியை | பூனூல் - ஊசியை |
| 93 | 28 | $v_1 = v + gt$ | $v_1 = v_0 + gt$ |
| 94 | 16 | நிமிஷத்திலே 12 மீடர் | நிமிஷத்திலே செகண்டிற்கு 12 மீடர் |
| 98 | 12 | சீரான | இயங்காத நிலேயிலிருந்து சீரான |
| 114 | 16 | கதியிற்கு | கதிக்கு |
| 115 | 9 | அல்லது கதியோடியங்கும் | அல்லது சீரான கதியோடியங்கும் |
| 117 | 8 | கதிமாற்றமே | கதிமாற்ற விகிதமே |
| 123 | 13 | பூமியின் செறிவு | பூமியின் பொதுமைச் செறிவு |
| 123 | 20 | கிராம்/செ. மீ. | கிராம்/க. செ. மீ. |
| 130 | 16 | கூறிய | கூரிய |
| 141 | 21–22 | சமமாகவே | சமமாயும் எதிராயும் |
| 144 | 8 | ரி-யின் மட்டத்திற்கு | ரி-யின் மேல்மட்டத்திற்கு |
| 146 | 19 | $a$ | $a_1$ |
| 152 | 6 | ஸப-ஸக | ஸப-2ஸக |

‡

| பக்கம் | வரி | பிழை | திருத்தம் |
|---|---|---|---|
| 154 | 16 | டைன் | பவுண்டல் |
| 160 | 7 | சக்தி வேலை | சக்தி எதிர்மறை வேலை |
| 164 | 10 | 737 அடிப்பவுண்டு | ·737 அடிப்பவுண்டு |
| 164 | 12 | 737 அடிப்பவுண்டு | ·737 அடிப்பவுண்டு |
| 171 | 23 | ஒலிமாற்றலாக | ஒலியாற்றலாக |
| 237 | 2 | இரண்டு முரணிய இணையான | இரண்டு இணையான |
| 249 | 23 | சமமாய் | சமமாயும் எதிராயும் |
| 251 | படம்71 | X | Y |
| 251 | படம்71 | Y | X |
| 258 | 20 | $\frac{6 \times 9}{32} = 1\frac{11}{16}$ | $\frac{6 \times 9}{41} = 1\frac{13}{41}$ |
| 259 | 2 | $\left(4 + 1\frac{11}{16}\right) = 5\frac{11}{16}$ | $\left(4 + 1\frac{13}{41}\right) = 5\frac{13}{41}$ |
| 277 | 1 | $\frac{P - Q}{\tan \theta}$ | $\frac{\tan \theta}{P - Q}$ |
| 303 | 1 | 6 சங். | 6 ச. அங். |
| 340 | (படம் 104 (2)) அம்புக் குறிகள் கலங்களின் சிறைகளுக்கு லம்பமாக இருக்கவேண்டும். | | |
| 366 | படம் 118 | ல | ள |
| 393 | 24 | 13·884 கிராம் | 138·84 கிராம் |
| 450 | 14 | விலக்குகளிலிருப்பது | விளக்குகளிலிருப்பது |
| 511 | 14 | திடப்பொருளின் அகற்சி | திடப்பொருளின் பருமை அகற்சி |

| பக்கம் | வரி | பிழை | திருத்தம் |
|---|---|---|---|
| 515 | 28 | ஆகும். | ஆகும். $\gamma$—என்பது ரசத்தின் பருமை அகற்சிப்பான்மையாகும். |
| 516 | 10—11 | உண்மையான | $0^\circ c$-க்கு திருத்தப்பட்ட |
| 517 | 19 | கண்ணுடியின் அகற்சிப்பான்மை | கண்ணுடியின் பருமை அகற்சிப்பான்மை |
| 521 | 30 | ·000183 | ·0000183 |
| 551 | 3 | $(\theta - T)$ | $(\theta - t)$ |
| 551 | 4 | $(\theta - T)$ | $(\theta - t)$ |
| 551 | 5 | $(\theta - T)$ | $(\theta - t)$ |
| 554 | 27 | $- T_2$ | $+ T_2$ |
| 585 | 16 | 362 கிராம் | 362 கனலி |
| 616 | 12 | Materiological | Meteriological |
| 634 | 13 | $T^\circ$ | $T_2^\circ c$ |
| 684 | 16 | 100 அடி | 100 மீட்டர் |




பௌதிக நூல்

முதற் புத்தகம்

ஆர். கே.

விசுவநாதனும்

வி. என்.

இராமஸாமியும்

இயற்றியது